B 7922 F

Heft **3** Seite 93-138 3. Jahrgang Juni 1961

R. Oldenbourg München und Wien

Postverlagsort München

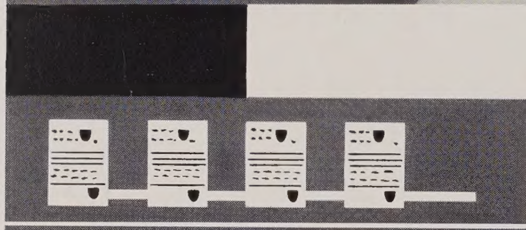
ER

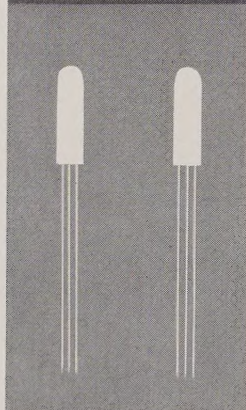
Elektronische Rechenanlagen

Zeitschrift für Technik und Anwendung der Nachrichtenverarbeitung in Wissenschaft Wirtschaft und Verwaltung



ZUSE Z 23 Programmgesteuerte elektronische Rechenanlage in Transistor-Technik





Volltransistorisierte Analog-Rechenmaschine mit 15 Rechenverstärkern, 4 Multiplikatoren und 2 Funktionsgebern. Mehrere Geräte können zu einer Anlage zusammengestellt werden. Das Gerät ist für Tischaufstellung bestimmt und hat eine Komponentengenauigkeit von 0,1 %. Der interne Aufbau erfolgt mit Steckeinheiten in gedruckter Schaltungstechnik.

Ihre Probleme werden durch unser TELEFUNKEN-Rechenzentrum in Konstanz gelöst.



TELEFUNKEN

ZUSE Z 23

Programmgesteuerte
elektronische Rechenanlage
in Transistor-Technik

Elektronische Rechenanlagen

Zeitschrift für Technik und Anwendung der Nachrichtenverarbeitung in Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung.

Unter Mitwirkung des Fachausschusses 6 „Informationsverarbeitung" der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im VDE (NTG) herausgegeben im Verlag R. Oldenbourg, München und Wien.

Schriftleitung:

Dr. rer. nat. K. Becker-Berke, Sindelfingen
Dr. rer. nat. H. Billing, München,
Dr.-Ing. H.-J. Dreyer, Stuttgart,
Dr. rer. nat. R. Herschel, Ulm,
Dr. phil. nat. H. Kaufmann, München,
Dr. techn. H. Zemanek, Wien

Büro der Schriftleitung:

D. Kroneberg, München 8, Rosenheimer Straße 145, und 1 bis, Rue Vaneau, Paris 7ème

Verlag und Anzeigenverwaltung:

R. Oldenbourg, München 8, Rosenheimer Straße 145, Telefon: 4 59 21, Fernschreiber: 05/23789
R. Oldenbourg, Ges. m. b. H., Wien III, Neulinggasse 26, Telefon: 72 62 58

Bezugsbedingungen:

Die Zeitschrift „Elektronische Rechenanlagen" erscheint zweimonatlich, jeweils im Februar, April, Juni, August, Oktober, Dezember.
Bezugspreis DM 54,— (Ausland DM 56,—) im Jahr zuzüglich Zustellgebühr, Einzelheft DM 12,—. Postscheckkonto München Nr. 5004, R. Oldenbourg.
Mitglieder der Nachrichtentechnischen Gesellschaft im VDE (NTG) zahlen den ermäßigten Bezugspreis von DM 43,20 im Jahr, sofern sie ihre Bestellung an die NTG-Geschäftsstelle in Frankfurt a. M., Osthafenplatz 6, richten.

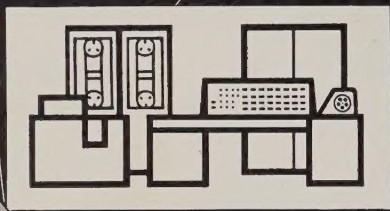
Mitteilungen über die Inhaber- und Beteiligungsverhältnisse des Verlages R. Oldenbourg auf Grund des Bayerischen Gesetzes über die Presse vom 3. 10. 1949: Die Gesellschafter-Anteile befinden sich im Besitz der R. Oldenbourg K.G., München, Rosenheimer Straße 145. Persönlich haftende Gesellschafter: Eberhard Oldenbourg, Verlagsbuchhändler, München, Wilhelmstr. 25; Dr. Rudolf Oldenbourg Verlagsbuchhändler, München-Solln, Karl-Singer-Straße 5; Horst Kliemann, Verlagsbuchhändler, München 19, Falnerstr. 4; Kommanditisten: Mathilde v. Bomhard, München, Sternwartstr. 3; Gabriele v. Bomhard, München 13, Pettenkoferstr. 48/III; Cilla v. Cornides, Rieden/Tirol; Dr. Karl v. Cornides, Verlagsbuchhändler, Wien III, Neulinggasse 26; Wilhelm v. Cornides jr., Verlagsbuchhändler, Oberursel/Taunus, An der Heide 35; Frl. Cilla v. Cornides, München, Robert-Koch-Straße 18/IV; Brigitte Fertl, München, Borschtallee 30; Dipl.-Ing. Hans A. Fieser, Dir., Gauting, Waldpromenade 62; Irmgard Fieser, Gauting, Waldpromenade 62; Annemarie Ginther, Rieden/Tirol; Dr. Helene Hahn, Bremen-Blumenthal, Landrat-Christian-Straße 79; Marie-Hedwig Klöpfer, Essen-Werden, Laupendahler Landstraße 17; Eva Lange, Bonn/Rhein, Baumschulallee 10; Maria Freifrau v. Meyern-Hohenberg, München, Kopernikusstr. 11/IV; Edith Müller, Hamburg 39, Clärchenstr. 22; Inge v. Negelein, München 27, Denninger Str. 34; Consuelo Oldenbourg, München, Viktor-Scheffel-Straße 10/I; Emmy Oldenbourg, Rieden/Tirol; Gertrud Oldenbourg, Bremen, Friedrich-Karl-Straße 80; Dr. John C. Oldenbourg, São Paulo/Brasilien, Rua Alagoas 676; Marga Oldenbourg, München, Wilhelmstr. 23; Walter Oldenbourg, Verlagsbuchhändler, München-Solln, Irmgardstr. 27; Wilhelm Oldenbourg, Verlagsbuchhändler, München-Solln, Karl-Singer-Straße 5; Wolfgang Oldenbourg, Kaufmann, München-Trudering, Waldschulstr. 73; Brigitte Reiner, Haar b. München, Vockestr. 81; Friedrich Rosenkranz, München 27, Denninger Str. 34; Ilse Rosenkranz, München 27, Denninger Str. 34; Sophie Schmid, Bad Reichenhall, Wisbacherstr. 4; Gräfin Inge Schönborn, München, Sternwartstr. 5; Ute Schröder, Hofaichlaan 24, Den Haag; Luise Sieper, München, Bonner Straße 24; Hedwig Freifrau v. Stengel, Grünwald b. München, Gasteigweg 1.

Druck: R. Oldenbourg, Graphische Betriebe GmbH, München 8, Rosenheimer Straße 145

INHALT Heft 3 · 1961

CONTENTS

SIEMENS



249

Das Bild der Wirtschaft in Zahlen

Leistung und Dynamik der Wirtschaft werden in Zahlen und Werten sichtbar. Diese Zahlenaussagen bedingen vielfältige und umfangreiche Verwaltungsarbeit. In den Büros der Industrie, in Banken, Versicherungen, Verwaltungen und Behörden müssen hierzu immer größere Datenmengen erfaßt, geordnet und in aktuelle Ergebnisse umgesetzt werden. Mit den bisher üblichen Mitteln und Methoden können diese Anforderungen nicht mehr schnell, exakt und rationell genug erfüllt werden. Elektronische Datenverarbeitungsanlagen bringen neue, wirksamere Arbeitsmethoden: als Organisationszentren lösen sie die Verwaltungsprobleme heute und auf weite Sicht.



Die Siemens Datenverarbeitungsanlage 2002

ist eine Anlage mit universeller Einsatzmöglichkeit; der bausteinartige Aufbau ermöglicht die Anpassung an alle Probleme. Die entscheidenden Vorzüge der Siemens Datenverarbeitungsanlage sind: hohe Arbeitsgeschwindigkeit, beliebig erweiterbare Speicherkapazität, schnelle Ein- und Ausgabegeräte sowie die entfernungsunabhängige Ein- und Ausgabe über das Fernschreibnetz. Mit wachsenden Problemen und Anforderungen kann die Siemens Datenverarbeitungsanlage 2002 entsprechend erweitert werden.

Unsere erfahrenen Organisationsfachleute helfen Ihnen bei der Einsatzplanung. Die weltweite Vertriebsorganisation des Hauses Siemens gewährleistet zuverlässigen Kundendienst.

SIEMENS & HALSKE AKTIENGESELLSCHAFT
WERNERWERK FÜR TELEGRAFEN- UND SIGNALTECHNIK

Elektronische Rechenanlagen

Zeitschrift für Technik und Anwendung der Nachrichtenverarbeitung in Wissenschaft, Wirtschaft und Verwaltung

3. Jahrgang 1961, Heft 3

Bereits der Titel dieser Zeitschrift weist durch das Wort „Anlagen" auf den großen Unterschied hin, der die heutigen Rechengeräte von denen der vorhergehenden Generation trennt. Die Entwicklung hat teilweise zu ausgesprochen großen, ja man kann sagen Riesen-Anlagen geführt, welche selbstverständlich das Interesse weitester Kreise auf sich gezogen haben.

Darüber hinaus wird leicht vergessen, daß neben den ausgesprochen großen Anlagen die kleinen und mittleren Anlagen ebenfalls immer größere Bedeutung gewonnen und weitgehende Verbreitung gefunden haben. Dabei ist es keineswegs so, daß die kleinen Rechenanlagen einen Notbehelf darstellen und daß man die schwierigen Probleme nur auf Großanlagen behandeln könnte.

In bezug auf universelle Verwendbarkeit, Speicherkapazität und Schnelligkeit ist die Großrechenanlage im allgemeinen lediglich im letzten Punkt überlegen. Der Kenner weiß, daß gerade kleine und mittlere Anlagen logisch besonders interessante Möglichkeiten aufweisen, die man bei mancher Großrechenanlage vermißt. Was die Speicherkapazität anbetrifft, so stehen sowohl für kleine als auch für große Anlagen Speichertechniken für ausreichende Kapazität zur Verfügung (Trommelspeicher, Ferritkernspeicher), wobei der Preisunterschied nur durch die Schnelligkeit gerechtfertigt ist.

So konnten allein in Deutschland von einer einzigen auf diese Geräte spezialisierten Firma in den letzten Jahren etwa 40 programmgesteuerte Relais-Rechenanlagen hergestellt werden, welche in erster Linie im Vermessungswesen und der optischen Industrie eingesetzt wurden. Die gleiche Firma konnte etwa 50 kleinere elektronische Rechenanlagen bauen, welche in sehr universeller Weise für die verschiedensten Aufgaben in Wirtschaft und Forschung zur Verfügung stehen.

Der Vorteil der Kleinrechenanlagen liegt vor allem darin, daß sie keine überstürzten Umstellungen in der Organisation erfordern, sondern sich weitgehend dem Arbeitsablauf in den einzelnen Instituten, Behörden usw. anpassen.

Bei dem Leistungsvergleich von Groß- und Kleinrechenanlagen darf man nicht allein von der Zahl der in der Zeiteinheit durchgeführten Rechenoperationen ausgehen. Es mag stimmen, daß eine Großrechenanlage in dieser Hinsicht mehr leistet als eine Reihe von kleinen Rechenanlagen, welche zusammen denselben Preis kosten. Die Wirtschaftlichkeit der Kleingeräte ist deshalb nicht in Frage gestellt, da diese dezentralisiert aufgestellt werden können und so an Ort und Stelle für eine Fülle von Problemen sofort zur Verfügung stehen.

Außer diesen rein wirtschaftlichen Gesichtspunkten spielen grundsätzliche Fragen, wie Geheimhaltung, Firmenpolitik usw., eine Rolle.

Die Geräte mit der schnellsten nach Mikrosekunden zählenden Zugriffszeit im Speicher pflegen die längste Zugriffszeit für den Benutzer zu haben. Die zentrale Anlage ist oft schon auf Wochen im voraus belegt, während die kleine Anlage dem einzelnen Verbraucher meist sofort zur Verfügung steht. Selbst dort, wo eine Großrechenanlage am Platz ist, wird oft bestätigt, daß es günstig ist, zunächst über eine Kleinrechenanlage in den Problemkreis hineinzuwachsen. Auch nach Inbetriebnahme der Großrechenanlage bleiben genügend Aufgaben, welche den Einsatz der Kleinrechenanlage nach wie vor sinnvoll erscheinen lassen.

In Zukunft werden die Kleinrechenanlagen wahrscheinlich noch größere Bedeutung erlangen. Nicht alle Zweige der Forschung, Industrie und Wirtschaft werden den Zentralisierungstendenzen folgen. Im Gegenteil, einzelne Institute, so beispielsweise Unternehmen der Bauindustrie, werden auch in Zukunft bewußt bestrebt sein, lebensfähige Einheiten im Gesamtrahmen zu bilden. Heute mag es für viele noch bequem sein, die anfallenden Rechenprobleme einer Rechenzentrale zu überlassen. In Zukunft werden aber die durch Rechenanlagen geleisteten Arbeiten immer zahlreicher werden und immer enger mit dem Gesamtbetrieb des Einzelinstituts verflochten sein, so daß die Betreffenden vor die Frage gestellt werden: entweder im Zuge der Zentralisierung immer mehr Aufgaben der Zentrale zu überlassen und sich dabei selbst aufzulösen, oder die Rechenprobleme im eigenen Institut zu lösen und somit lebensfähig zu bleiben.

Auch technisch gesehen, sind die Aussichten für den Kleinrechner für die Zukunft günstig. Die Transistorisierung erhöht die Betriebssicherheit der Geräte wesentlich, so daß auch der Gesichtspunkt der leichteren zentralen Wartung nicht ins Gewicht fällt. Die weitere Zukunft weist mit der Möglichkeit der Miniaturisierung ebenfalls in diese Richtung. Dadurch wird es möglich sein, sowohl die Großanlagen ins Gigantische zu steigern als auch die Kleinanlagen in ihrer Leistung noch wesentlich zu erhöhen.

Konrad Zuse

Notizen und Berichte

Wie aus einem Bericht der amerikanischen Air Transport Association (ATA) hervorgeht, überschritt die Zahl der in der ganzen Welt (mit Ausnahme der UdSSR und Rotchinas) beförderten Passagiere im Jahre 1960 die 100-Millionen-Grenze. Weiter vermerkt der Bericht, daß die Einführung von Überschall-Verkehrsflugzeugen zwar eifrig diskutiert würde, aber bisher hätten sich weder die Fluggesellschaften noch die einschlägige Industrie über Finanzierungspläne geeinigt. Der Reisende wird sich also noch auf Jahre hinaus mit Fluggeschwindigkeiten unter 1000 km/Stunde begnügen müssen.

●

In Heft 1 (1961) dieser Zeitschrift wurde eine Übersicht über die z. Z. auf dem amerikanischen Markt eingeführten Allzweck-Digitalrechner besprochen. Viele Leser fragten inzwischen nach der genauen Anschrift des Herausgebers dieser Übersicht. Hier ist sie:
Charles W. Adams Associates, Inc.,
142the Great Road, Bedford, Mass., USA.

●

Kritische Besucher der Mitte Mai in Paris veranstalteten MESUCORA konnten sich von dem überraschend breiten Angebot französischer Herstellerfirmen — vor allem auf dem Gebiet der Meßtechnik — überzeugen. Insgesamt waren 730 Firmen aus 17 Ländern vertreten (davon 110 deutsche), die ein vielfältiges Bild von dem Stand der Meß- und Regelungstechnik vermittelten. Dennoch reichte diese Ausstellung, die von nun ab im 3-Jahres-Turnus in Paris stattfinden soll, an das Vorbild der Düsseldorfer Interkama nicht heran. Auf dem Gebiet der Digitalrechner, die ja doch in automatischen Anlagen schnell an Bedeutung gewinnen, waren lediglich die Typen Libratrol 500, RW 300, IBM 1620 und CAB 500 zu finden. Firmen wie RCA, Burroughs, ICT, Bendix, Ferranti und Bull fehlten ganz oder zeigten andere Erzeugnisse ihres Programmes. Auch Analogrechner gab es kaum zu sehen. Überhaupt fehlten einige wesentliche Namen nicht nur aus Deutschland, sondern z. B. auch aus England, so daß fühlbare Lücken — etwa in Sachen Werkzeugmaschinensteuerung, Meßwertverarbeitung, Simulatoren — zu verzeichnen waren.

Trotz der „Schwächen" dieser ersten MESUCORA läßt sich allerdings der Eifer der französischen Veranstalter nicht verkennen. Sollte es gelingen, für 1965 die obengenannten Lücken zu schließen, so könnte Paris sehr bald den Düsseldorfern Konkurrenz machen — zumindest insofern, als es für viele Aussteller dann unumgänglich sein würde, beide Plätze zu belegen. Auch hier dürfte die Weiterentwicklung des Gemeinsamen Marktes das letzte Wort sprechen.

●

Bis zu 150000 Kundenaufträge pro Tag wird die *Neckermann Versand KG* in Frankfurt (Main) mit ihrer neuen IBM-Datenverarbeitungsanlage bewältigen. Das Gesamtsystem besteht aus einer IBM 7070 mit sechs angeschlossenen Magnetbandeinheiten IBM 729/IV und drei IBM 1401 mit weiteren sieben Magnetbandeinheiten. Für die Planung und Vorbereitung der Programme benötigte man etwa drei Jahre. In dem Planungs- und Programmierstab, der aus Mitarbeitern der Firmen Neckermann und IBM bestand, arbeiteten zeitweise zehn Herren.

In der Bundesrepublik wurden außerdem sechs weitere IBM-7070-Systeme installiert, so unter anderem bei der *Deutschen Bundesbahn* in Frankfurt (Main), bei der Firma *Robert Bosch* in Stuttgart, bei den *Chemischen Werken Hüls* sowie im IBM-Rechenzentrum im Düsseldorfer Thyssen-Hochhaus. Weitere fünf Installationen, darunter eine für das Statistische Bundesamt in Wiesbaden, sind für das Jahr 1961 geplant.

IBM-7070-Systeme wurden seit Beginn des Jahres außerdem aufgestellt in der Hauptverwaltung der ALITALIA in Rom und bei der RHI (Italiens Rundfunk- und Fernsehgesellschaft) in Turin. Installationen sind geplant bei der SAS, der Swissair, bei Rolls Royce, Valvo, bei der Schweizerischen Bundesbahn, im Postscheckamt Zürich, im Statistischen Amt von Schweden und bei der Banco d'Italia.

●

Die Electronic Tube Division der Burroughs Corporation bietet Dünnschichtspeicher mit 0,2 μs Zykluszeit an. Das Grundelement besteht aus einer etwa 10×10 cm messenden Folie von weniger als 2 mm Dicke und hat eine Speicherkapazität von 20 Worten zu je 8 Bit. Der Preis beträgt gegenwärtig 175 Dollar pro Grundelement.

●

Der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft hat dem Statistischen Bundesamt das Ergebnis seiner „Elften Registrierungsaktion" bekanntgegeben. Danach hat die Gewerbliche Wirtschaft im Jahre 1959 für die Wissenschaftspflege und Wissenschaftsförderung aufgewandt:

für werks- und betriebseigene Forschung und Entwicklung der Unternehmen (einschl. Vertragsforschung) rd. DM 1300 Millionen;

für verbandsgemeinschaftliche Forschung und Entwicklung sowie fachbezogene Wissenschaftsförderung (einschl. Vertragsforschung) rd. 60 Millionen DM;

für die Spenden an Wissenschaftliche Hochschulen, Forschungsstätten, sonstige wissenschaftliche Institutionen sowie Stipendien (Stifterverband, Fördererergesellschaften der Hochschulen, Direktspenden) rd. 53 Millionen DM. Hiervon entfallen auf die einzelnen Wissenschaftsgebiete: Geistes- und Gesellschaftswissenschaften 26%, Naturwissenschaften und Technik 56%, Medizin 18%.

●

Die *Electrologica GmbH*, Düsseldorf, veranstaltet in kurzen Zeitabständen Seminare zur Einführung in die Arbeitsweise und die Programmierung der elektronischen Rechenanlage X 1. Diese Seminare sind kostenlos und geben Interessenten die Möglichkeit, sich unverbindlich über die allgemeinen und speziellen Einsatzmöglichkeiten der X 1 zu informieren. Ferner werden besondere Kurse durchgeführt, in denen weitergehende Kenntnisse in der Programmierung auch schwieriger Aufgaben vermittelt werden.

Mitte März 1961 wurde eine weitere X 1-Rechenanlage der *Electrologica GmbH*, Düsseldorf, bei der Rheinelbe Bergbau Aktiengesellschaft in Gelsenkirchen installiert. Als dritte Anlage im Bereich des Bergbaues wird diese X 1 insbesondere für Wetterberechnungen unter Tage, Markscheideaufgaben und Transportprobleme für den gesamten Konzern des genannten Unternehmens eingesetzt.

●

Die Sektion *Automatische Dokumentation* im Informations-Forschungszentrum CETIS der Europäischen Atomgemeinschaft hat sich als eine vordringliche Aufgabe gestellt, eine umfassende Zusammenstellung der Daten heute schon verwendeter Dokumentationssysteme zu erarbeiten. Die Arbeiten sind mit dem Ausschuß FID-MSS abgesprochen und erfolgen in Zusammenarbeit z. B. mit dem

Arbeitsausschuß Mechanische Dokumentation der Deutschen Gesellschaft für Dokumentation. Als Ausgangsmaterial dienen Reports, Proceedings und Zeitschriftenartikel über Verfahren und Methoden der Dokumentation. Hauptinformationsquelle jedoch soll eine Fragensammlung sein, die Benutzern heute bereits arbeitender Dokumentationssysteme übersandt werden wird. Die Antworten sollen Aufschluß bringen über die Einzelheiten der verschiedenen Systeme.

Die Fragen sind in a) allgemeine Angaben; b) maschinelle Ausrüstung und Personal; c) Verfahren — Indexing, Klassifizieren, Kodieren, Programmieren, gegliedert.

Die Zusammenstellung dient verschiedenen Zielen. Einmal sollen alle Interessenten, vom Hersteller der Geräte über die Forschungsstellen für Informationstechnik bis zu den praktisch arbeitenden Dokumentationsstellen, durch die Veröffentlichung der Ergebnisse einen Überblick über den aktuellen Stand der Dokumentationstechnik und der Dokumentationsverfahren erhalten. Zum anderen soll die Zusammenstellung der Sektion *Automatische Dokumentation* Aufschlüsse über den Entwicklungstrend in der Dokumentationstechnik bringen. Damit können die Bemühungen der Sektion um eine schwerpunktmäßige Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Dokumentation und um den geplanten Aufbau eines internationalen Dokumentationsnetzes auf eine praktische Basis gestellt werden. Schließlich sollen die statistischen Ergebnisse der Erhebung bei der Ausarbeitung einer allgemeinen Theorie der Dokumentationssysteme herangezogen werden.

Wegen der Wichtigkeit, die die Ergebnisse für die Orientierung aller Dokumentationsstellen haben, hofft die Sektion *Automatische Dokumentation* auf großes Entgegenkommen der befragten Stellen und eine schnelle Beantwortung der zum Teil sehr eingehenden Fragen. Durch die Verwendung von Lochkarten und von lochstreifengesteuerten Schreibmaschinen bei der Auswertung wird die Bearbeitungszeit beträchtlich verkürzt, so daß schon Ende 1961 mit den ersten Ergebnissen zu rechnen ist.

Interessenten wollen sich an folgende Anschrift wenden: Dr. K. H. Meyer-Uhlenried, Euratom, Forschung und Ausbildung CETIS/DOCA, 51—53, Rue Belliard, *Brüssel (Belgien)*.

●

Im Rahmen eines großen Projektes werden noch im Laufe dieses Jahres die ersten Einrichtungen eines Platzbuchungssystems für die Air France in Paris installiert. Das vollautomatische Buchungssystem trägt dem ständig wachsenden Verkehr, insbesondere dem Einsatz neuer Düsenverkehrsmaschinen, Rechnung und wird eine möglichst hohe Nutzung des verfügbaren Transportraumes gewährleisten. Mit dem von der *Standard Elektrik Lorenz (SEL)* in Zusammenarbeit mit ihrer französischen Schwestergesellschaft *Le Matériel Téléphonique (LMT)* entwickelten System können automatisch die gesamten, zum Teil sehr komplizierten Buchungsvorgänge bearbeitet werden, im Gegensatz zu einigen bereits in Betrieb befindlichen Anlagen, die nur Teile dieses Gesamtprogrammes bewältigen.

●

In den USA werden Schnellverschlüsse seit langem in den verschiedensten Industriezweigen bevorzugt. Sie bieten eine Reihe beachtlicher Vorteile. Um einige zu nennen: Verringerung der Montagelöhne, Wegfall der verlierbaren Teile, Schutz der Oberfläche durch Führungsring, geringe Lagerhaltung.

Die Camloc Fastener Corporation, ein führender Hersteller von Schnellverschlüssen in den USA, ist jetzt auf dem europäischen Kontinent durch eine Tochtergesellschaft vertreten: *Camlog Fastener GmbH*, Kelkheim (Taunus,) Frankfurter Straße 36.

Zur weiteren Rationalisierung ihrer umfangreichen Verwaltungsarbeiten hat die Berliner Kraft- und Licht (Bewag)-Aktiengesellschaft eine elektronische Datenverarbeitungsanlage UCT der *Remington Rand GmbH* gemietet. Diese Anlage wird neben der Geschäfts- und Betriebsbuchhaltung sowie verschiedenen Statistiken die Löhne und Gehälter der rund 6000 Mitarbeiter der Bewag berechnen. Später soll auch die gesamte Stromabrechnung für rund 1 Million Abnehmer über diese Anlage laufen.

●

Der Springer-Verlag brachte im Januar 1961 das erste Heft der (vorläufig noch unregelmäßig erscheinenden) Zeitschrift „Kybernetik" zur Auslieferung. Herausgeber sind *H. B. Barlow*, Cambridge/England; *M. Halle*, Cambridge/Mass.; *B. Hassenstein*, Freiburg i. Br.; *W. D. Keidel*, Erlangen; *I. Kohler*, Innsbruck; *K. Küpfmüller*, Darmstadt; *H. Mittelstaedt*, Seewiesen/Obb.; *W. Reichardt*, Tübingen; *W. A. Rosenblith*, Cambridge/Mass.; *J. F. Schouten*, Eindhoven; *M. Schützenberger*, Poitiers; *K. Steinbuch*, Karlsruhe; *N. Wiener*, Cambridge/Mass. Wie im Vorwort angegeben, will die Zeitschrift besonders folgende Gebiete pflegen: Informations- und Systemtheorie, Steuerungs- und Regelungstheorie, wissenschaftliche Grundlagen und grundsätzliche Verfahren der Nachrichtenverarbeitung, experimentelle Ergebnisse der Rezeptorphysiologie und der Nervenphysiologie im Hinblick auf die Nachrichtenverarbeitung und -übertragung; Steuerung und Regelung im Organismus; Verhalten von Organismen und Gruppen von Organismen bei Aufgaben der Nachrichtenübertragung und -verarbeitung; Nachrichtenverarbeitung durch den Menschen; Modelle für die Nachrichtenübertragung und -verarbeitung im Organismus.

●

Die Banken-Automatisierung in der Bundesrepublik macht rasche Fortschritte: Mehr als 30 Banken und Sparkassen haben IBM-1401-Systeme angemietet. Eine ähnliche Entwicklung erkennt man in England. Wie schon früher berichtet, sind elektronische Datenverarbeitungsanlagen bei folgenden Unternehmen im Betrieb bzw. bestellt: Barclays Bank (EMIDEC 1100), Martins Bank (Pegasus 2), Lloyds Bank (drei IBM 305 RAMAC). Inzwischen hat sich auch die National Provincial Bank Ltd. zur Automatisierung entschlossen und für rund 2,5 Millionen DM einen Ferranti-Rechenautomaten „Orion" bestellt.

●

Das kanadische National Research Council hat vor einigen Monaten ein Studienkomitee ins Leben gerufen, das sich mit Fragen der Regelungstechnik und Automatisierung befassen soll. Eine der Hauptaufgaben dieses Ausschusses soll die Koordinierung der Interessen von Forschung, Lehre, Industrie und Verwaltung sein. Vorsitzender ist Prof. Dr. *J. Ham*, Ordinarius für Elektrotechnik an der Universität Toronto. Das Komitee wird außerdem Kanada in der International Federation of Automatic Control (IFAC) vertreten.

●

Drei Rechenautomaten vom Typ 1202 der englischen I.C.T. — jede im Wert von etwa 60000 Pfund Sterling — wurden von französischen Firmen in Auftrag gegeben.

●

Das in Heft 2 angekündigte Symposium über Informationsverarbeitung und Informationsübertragung (6. bis 8. September 1961 am MIT) wird nicht stattfinden. Wie der Organisationsausschuß mitteilt, waren Zahl und Art der eingegangenen Beiträge dem geplanten internationalen Rahmen nicht angemessen.

Um Fernschreibermeldungen einem größeren Interessentenkreis gleichzeitig zugänglich zu machen, wurde ein Fernschreiber mit Projektionseinrichtung entwickelt. Die aufgenommenen Nachrichten werden auf eine 125 mm breite Rolle Cellophanpapier geschrieben, und zwar bis zu 45 Zeichen in einer Zeile. Bei der Vergrößerung auf eine Bildwand erscheinen jeweils 17 Zeilen des geschriebenen Textes. Die BBC London benutzte eine solche Einrichtung, um die amerikanischen Wahlergebnisse von der Projektionsfläche mit der Kamera aufzunehmen; sie übermittelte so ihren Fernsehteilnehmern stetig den neuesten Stand.

Das Gerät, das von der *Creed* Comp., Croydon, einer Schwestergesellschaft der SEL, Stuttgart-Zuffenhausen, gebaut wird, ist mit der vollständigen Projektionseinrichtung etwa 80 cm lang, 50 cm hoch und 46 cm breit.

●

Die Gesellschaft für angewandte Mathematik und Mechanik (GAMM) veranstaltete ihre diesjährige Jahrestagung Anfang April in Würzburg. Dem Thema Rechenmaschinen waren zwei der Hauptvorträge gewidmet (*E. Stiefel*, Altes und Neues über numerische Quadratur; *H. Unger*, Zur strukturellen Entwicklung elektronischer Rechenanlagen). In der Sektion Rechenmaschinen wurden fünf Vorträge gehalten, die sich mit der Berechnung der Eulerschen Konstante, den Rundefehlern bei der Lösung linearer Gleichungen, der Reduktion nichtsingulärer Schaltwerke, der Behandlung von Approximationsproblemen am Analogrechner und dem Ausmultiplizieren der Klammern beim Nelson-Verfahren beschäftigten. Bemerkenswert ist auch die Behandlung von Themen der mathematischen Programmierung (*H. P. Künzi*, Der heutige Stand in der Theorie der nichtlinearen Programmierung, und *J. Heinhold*, Die Anwendung des Analogrechners in der linearen Optimierung). Die Vorträge dieser Tagung werden in der ZAMM veröffentlicht werden.

●

Die Doppel-Fachtagung „Aufnahme und Verarbeitung von Nachrichten durch Organismen“ und „Lernende Automaten“ in Karlsruhe vom 11. bis 14. April 1961 war nicht nur sehr gut besucht (über 700 Teilnehmer), sondern auch fachlich von bemerkenswertem Niveau. In der ersten Hälfte wurde dem Ingenieur eine Übersicht über die ihn interessierenden Gebiete der Physiologie geboten, während der zweite Teil mitten in aktuelle Probleme der Automatenkunde führte.

Nach den Übersichtsvorträgen der Professoren *Feldtkeller*, *Küpfmüller* und *Keidel* beeindruckte insbesondere die Experimentalvorführung — mit Hörsaal-Fernsehen und zahlreichen Projektionen — von Professor *Ernsthausen* über die Entstehung und Leitung von Nervenimpulsen an Tierpräparaten. Dr. *Mittelstaedt* machte in seinem Vortrag deutlich, wie sehr in der Biologie heute die Ergebnisse der Regelungstechnik zum selbstverständlichen und gut beherrschten Werkzeug der Forschung geworden sind.

Die Theorie der Automaten, die am ersten Halbtag der Tagung „Lernende Automaten“ im Vordergrund stand, gründet sich auf die logische Algebra (Dr. *Zemanek*) und auf bedingte Wahrscheinlichkeiten (Dr. *Uttley*). Die Professoren *Hermes* und *MacKay* analysierten auf zwei sehr verschiedenen Wegen die Organisation der Information in Lernvorgängen und kamen zu sehr verwandten Ergebnissen, daß nämlich auf Grund auftretender Redundanzen die Freiheitsgrade des Informationsraumes beim Lernen eingeschränkt werden. Die Lernmatrix nach Professor *Steinbuch* wurde nach Theorie, technischer Ausführung und Anwendung auf vielfache Weise vorgestellt. Außer den beiden eben genannten britischen Gästen waren auch drei amerikanische und ein russischer Redner auf dem Programm. *A. Newell* zeigte den psychologischen Hintergrund seines allgemeinen Problemlösungs-Programms auf, Dr. *Samuel* gab einige neue Teilergebnisse seiner Arbeiten über das automatische Lernen des Damespiels bekannt und Dr. *Rosenblatt* brachte eine Einführung in sein Perceptron. Herr *Napalkow* gab offenbar einen Auszug aus dem von ihm und *Braines* und *Swetschinski* herausgegebenen Buch „Probleme der Neuro-Kybernetik“, war aber durch Sprachschwierigkeiten ein wenig behindert. Die Wiener „Mailüfterl“-Gruppe dokumentierte zwei Lernmodelle durch einfache Filme, eine Schildkröte (Modell für den bedingten Reflex) und einen Labyrinthlöser (auch an der T. H. Karlsruhe wurde über das gleiche Thema ein Film hergestellt, der am ersten Abend vorgeführt wurde). Darüber hinaus wurden am „Mailüfterl“ mehrere Lernprogramme versucht und auch ein neues Verfahren entwickelt, das in einem bestimmten Sinn automatisch Klassenbegriffe aufbaut. Die Vorträge von den Herren *Härtl* und *Kussl* brachten auch noch den Aspekt der technischen und industriellen Anwendung von Lernvorgängen zur Sprache.

Am Samstag fand ein Ausflug in den Schwarzwald statt, der trotz bloß halber Unterstützung durch den Wettergott einen außerordentlich gelungenen Abschluß bildete. Die beiden Tagungen werden getrennt im Druck erscheinen, die erste Hälfte bei S. Hirzel in Stuttgart und die zweite Hälfte bei R. Oldenbourg in München.

●

Die Fachtagung „Zuverlässigkeit von Bauelementen“ in Nürnberg vom 26. bis 28. April 1961 war die erste Tagung dieses Themas in Deutschland und füllte das Lessingtheater bis auf den letzten Platz. Es waren so viele Beiträge angemeldet worden, daß nur eine Auswahl davon berücksichtigt werden konnte. Die behandelten Themenkreise waren Definitionen und Normen, nichtaktive Bauelemente, Röhren, Halbleiter und Geräte, wobei etwa zu gleichen Teilen Theorie, Messungsberichte und Vorschläge für die Produktion gebracht wurden. Trotz des großen Interesses, das sich in der Teilnehmerzahl ausdrückte, muß festgestellt werden, daß dieses Gebiet in Deutschland noch wenig entwickelt ist, insbesondere fehlt es an genügend umfangreichem Beobachtungsmaterial. Man hilft sich vielfach mit der Raffung der Beobachtungszeit, aber auch dabei sind die Zusammenhänge noch weitgehend unerforscht. Sehr bemerkenswert war der Vorschlag des einzigen ausländischen Vortragenden, des Herrn *H. R. Baumgartner* aus London, in Transistoren Getter zur Beseitigung schädlicher Gasreste einzubauen. In etwa eineinhalb Jahren soll wieder eine Tagung gleichen Themas stattfinden.

Zahlreiche Firmenbesichtigungen und ein Ausflug in die fränkische Schweiz schlossen die Tagung ab.

●

Die 112000 Angestellten der Post im Londoner Bereich werden in allernächster Zeit ihre Bezahlung auf Grund der Berechnung durch elektronische Rechenmaschinen erhalten. Die Einrichtung heißt LEAPS (*London Electronic Agency for Pay and Statistics*) und wird zwei Rechenanlagen LEAPS 1 und LEAPS 2 mit gemeinsamen Arbeits- und Stanzräumen haben. Die Recheneinheiten selbst werden *National-Elliott-405*-Geräte sein, zum Stanzen stehen 20 Creed-Locher zur Verfügung und der Druck wird von Samastronic-Zeilendruckern (5 Zeilen pro Sekunde, jede Zeile maximal 140 Zeichen) besorgt. Neben den üblichen Speichern der Recheneinheiten (Nickel-Verzögerungsleitungen und Magnettrommel) ist ein Speicher mit magnetischem 35-mm-Film bemerkenswert. Ein 300 m langes Filmband vermag 300000 Wörter oder 10^7 bit zu speichern; das Band wird mit einer Geschwindigkeit von 75 cm/sec bewegt, die Impulsdichte ist 56 bit/cm. Auf diesem Band sind die festbleibenden Daten (Namen und Adressen zum Beispiel) und die für die Lohnberechnung von der Vorwoche erforderlichen Zahlen gespeichert. LEAPS 1 ist bereits voll im Betrieb.

Prozeß-Rechenanlage ermöglicht rationelleren Betrieb von Kraftwerken

Control computer facilitates a more economical run of power plants

von K.-J. LESEMANN
Schoppe & Faeser GmbH., Minden (Westf.)

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 3, S. 101—110
Manuskripteingang: 18. 3. 1961

Aufbau und Leistung moderner Großkraftwerke verlangen in steigendem Maße eine genaue Kenntnis des gesamten Prozesses der Energieumwandlung von der Verbrennung über die Dampferzeugung bis zur Abgabe der elektrischen Energie. Ferner besteht das Bedürfnis, bei Störungen schneller als bisher, wirkungsvoller als bisher und möglichst vollautomatisch eingreifen zu können. Eine laufende und ohne Zeitverzug arbeitende Berechnung des thermischen Wirkungsgrades ist dafür unerläßlich. Sogenannte Prozeß-Rechenanlagen, bestehend aus Digitalrechnern und Geräten zur automatischen Meßwertübernahme, können die genannten Forderungen erfüllen.

Die vorliegende Arbeit beschreibt zunächst die Aufgaben einer Prozeß-Rechenanlage im Kraftwerk und behandelt sodann eingehend das Verfahren der Wirkungsgradberechnung. Als praktisches Beispiel wird die Arbeitsweise der Prozeß-Rechenanlage LIBRATROL 500 erläutert.

Power level and complexity of modern power stations require a precise knowledge of the whole energy conversion process, from combustion through steam generation, and up to the electrical power output. In addition, it is desirable to detect and correct any irregularity in a quicker manner and, if possible, fully automatically. This necessitates undelayed, permanent calculating of the thermic efficiency degree. Process control systems, consisting of digital computers and automatic data input and output equipment, meet these requirements.

This paper outlines the tasks to be fulfilled by process control systems in power station operation. The mathematical procedure to calculate the efficiency degree is described in detail. Finally, the operation of the process control system LIBRATROL 500 when applied to power station control, is elaborated.

1. Einleitung

Die modernen Dampfkraftwerke benutzen zur Verbesserung des thermischen Wirkungsgrades in steigendem Maße weitaus höhere Dampfdrücke und Dampftemperaturen als früher. Ebenso werden die Turbinenleistungen und damit natürlich auch die Kessel ständig größer. Leistungen von 200 MW in einem Block sind heute keine Seltenheit mehr. Damit wachsen aber naturgemäß auch die Anlagenkosten für ein Kraftwerk, und es scheint selbstverständlich, daß sich die Kraftwerksplaner bemühen, die mit hohen Investitionen belasteten Anlagen zu schützen und mit einer möglichst vollkommenen Überwachung zu versehen. Der erste Schritt dazu war die Ausrüstung von Kessel und Turbine mit einer Vielzahl von Meßgeräten und komplizierten Regeleinrichtungen pneumatischer oder elektrischer Bauart. Diese nach dem Krieg besonders vorangetriebene Entwicklung hat zu einer beachtlichen Vervollkommnung der konventionellen Regelanlagen, insbesondere der elektrischen, geführt und damit auch den Kraftwerksbetrieb erheblich verbessert. Es sieht aber heute so aus, als ob eine wesentliche Steigerung von der Seite der konventionellen Regler her nicht mehr zu erwarten wäre.

Deshalb suchen die Kraftwerksplaner nach neuen Wegen, um den gesamten Prozeß der Energieumwandlung von der Verbrennung über die Dampferzeugung und die Turbine bis zur Abgabe der elektrischen Leistung aus dem Generator an das Netz noch fester in die Hand zu bekommen, sowie nach Möglichkeiten, bei Störungen schneller als bisher, wirkungsvoller als bisher und möglichst vollautomatisch eingreifen zu können.

Dazu gehört neben der konzentrierten Registrierung aller Meßwerte in einer Zentrale, ihrer automatischen Überwachung auf Über- oder Unterschreitung von Grenzwerten, vor allem die Kenntnis des Wirkungsgrades, mit dem die Energie im Brennstoff in elektrische Energie umgesetzt wird. Erst wenn diese Größe bekannt ist, kann man mit Bestimmtheit sagen, ob der betreffende Kraftwerksblock im optimalen Betriebspunkt arbeitet oder ob irgendeine Anomalie oder gar Störung vorliegt. Man ist heute auch bereits in vielen Kraftwerken dazu übergegangen, den Wirkungsgrad zu berechnen. Das ist aber eine recht mühselige und zeitraubende Arbeit, weil zunächst viele Meßwerte durch Ablesung an Anzeigeinstrumenten und Schreibern gewonnen werden müssen, ehe die eigentliche Rechnung beginnen kann. Meist erhält man das Ergebnis erst einen Tag später. Dann ist es natürlich zu spät, um noch in den Prozeß eingreifen zu können; man kann lediglich zur Kenntnis nehmen, daß man gut oder schlecht gefahren ist.

Es ist also wichtig, daß der Wirkungsgrad ohne großen Zeitverlust und laufend berechnet wird. Dazu sind einmal sehr rasch arbeitende Rechner notwendig, zum anderen Einrichtungen, die die benötigten Meßwerte automatisch ablesen und dem Rechner zuführen. Beide Forderungen werden von den für diese Aufgaben speziell entwickelten Datenverarbeitungsanlagen, den sogenannten Prozeß-Rechenanlagen, erfüllt.

2. Aufgaben einer Prozess-Rechenanlage im Kraftwerk

Ein Prozeß-Rechner kann in einem Kraftwerk folgende Aufgaben übernehmen:

1. Umrechnung von Meßwerten,
2. Registrierung einer Vielzahl von Meßwerten,
3. Prüfung von Meßwerten auf Alarm und Anzeige,
4. Berechnung von Wirkungsgraden und Kennzahlen,
5. Zu- und Abschalten von Brennern,
6. automatisches Hochfahren und Stillsetzen von Kessel und Turbine,
7. übergeordneter Eingriff in die konventionellen Regelkreise.

Zahlreiche Werte, die in einem Kraftwerk gemessen werden, müssen, bevor sie zur Anzeige gelangen bzw. geschrieben werden, umgerechnet werden. Zu solchen Werten gehören vor allem Temperaturen sowie Mengen gasförmiger Stoffe. Die Temperaturen werden mit Thermoelementen gemessen, die eine nichtlineare Kennlinie aufweisen, d. h., die abgegebene Spannung ist nicht proportional zur Temperatur. Zur Linearisierung wird die Kennlinie entweder durch einen Polygonzug angenähert, so daß abschnittsweise mit unterschiedlichen Koeffizienten linear interpoliert werden kann, oder es wird ein Potenzgesetz für die Kenn-

linie aufgestellt, das vom Rechner jeweils bei der Umrechnung der Spannung in wahre Temperatur benutzt wird.

Die Dampfmengen je Zeiteinheit werden meistens über den Differenzdruck an einer in die Dampfleitung eingebauten Blende gemessen. Die Menge ist dann proportional der Quadratwurzel aus dem Differenzdruck. Außerdem muß die Menge auf Normalkubikmeter bzw. Gewicht umgerechnet werden, wofür die Beziehung gilt

$$Q = K \cdot \sqrt{h \frac{P\,T_0}{P_0\,T}}\,. \qquad (1)$$

In der Konstanten K sind Blendenbeiwert, Dichte usw. zusammengefaßt, h bedeutet den Differenzdruck, P den gemessenen statischen Druck und T die gemessene absolute Temperatur, während P_0 und T_0 die Normalwerte sind. Diese Normalisierung kann an der Meßstelle direkt mit analog arbeitenden Rechengeräten ebenso wie die Radizierung vorgenommen werden. Das bedeutet aber unter Umständen einen sehr großen Aufwand auf der Meßgeräteseite, wenn viele Mengenmeßstellen vorhanden sind. Der Prozeß-Rechner dagegen kann diese Aufgabe leicht mit übernehmen, was lediglich auf Kosten der Zeit geht.

Schwanken die Meßwerte innerhalb eines Registrierzyklus, so ist es vorteilhaft, statt der Momentanwerte Mittelwerte aufzuschreiben, die aus einer größeren Zahl von Messungen gebildet werden. Dabei ist zu beachten, daß der Mittelwert aus radizierten Größen bei großen Abweichungen der Einzelwerte von einem mittleren Wert verschieden ist von der Quadratwurzel aus dem Mittelwert der nicht radizierten Größen. Im Fall der Dampfmessungen sind im allgemeinen der statische Druck und die absolute Temperatur infolge der sie konstant haltenden Regelkreise innerhalb einer Registrierperiode wenig unterschiedlich, während die Menge, also der Differenzdruck h, sich schnell ändern kann. Es ist dann zweckmäßig, radizierende Differenzdruckmeßgeräte [1] zu verwenden, um nicht bei jedem Momentanwert die zeitraubende Radizierung im Rechner vornehmen zu müssen. Die Normalisierung mit Druck und Temperatur kann dagegen ohne weiteres mit den Mittelwerten im Rechner erfolgen:

$$Q_M = K\left(\sqrt{h}\right)_M \cdot \sqrt{\frac{P_M\,T_0}{P_0\,T_M}}\,. \qquad (2)$$

Der Index M bezeichnet hierin Mittelwerte der betreffenden Größe, die Mittelwertbildung wird im Prozeß-Rechner vorgenommen.

Der größte Teil der an Kessel und Turbine gemessenen Werte soll dem Bedienungspersonal leicht zugänglich sein, um Störungen oder Abnormalitäten sofort feststellen zu können. Zu diesem Zweck hat man für jeden Block (Einheit aus Kessel, Hilfsgeräten und Turbine) zentrale Meßwarten, sogenannte Leitstände, geschaffen. Hier sind eine große Menge anzeigender oder registrierender Instrumente vorhanden, die vom Leitstandspersonal ständig im Auge behalten werden müssen. Trotz moderner Kleinbauweise nehmen die Geräte noch viel Platz in Anspruch, das Ablesen ist unbequem wegen Parallaxe oder zu großer Entfernung, und beim Ablesen von Schreibern können leicht Fehler und Ungenauigkeiten auftreten. Viel bequemer und sicherer ist es dagegen, alle Werte in Form einer Schreibmaschinenniederschrift auf engstem Raume konzentriert festzuhalten. Das ist sehr übersichtlich, die Werte sind ohne Fehler und ohne Anstrengung zu lesen und lassen sich ohne Mühe in kompaktester Form über lange Zeit hin aufbewahren. Dabei sollten alle Werte eines Registrierzyklus, die zum gleichen Zeitpunkt gemessen wurden, in einer Zeile stehen, damit in jeder Spalte die Werte ein und derselben Meßstelle in der richtigen zeitlichen Reihenfolge ihrer Messung untereinander erscheinen. Auf diese Weise sind auch Tendenzen leicht zu erkennen, da der Wert der vorherigen Messung stets unmittelbar über dem gerade gemessenen Wert liegt. Werden mehrere Blöcke von einem Prozeß-Rechner überwacht, so ist es unter Umständen wegen der großen Anzahl von Meßstellen notwendig, mehrere Schreibmaschinen zur Niederschrift zu benutzen. Die Umschaltung erfolgt programmgesteuert vom Prozeß-Rechner aus. Es ist empfehlenswert, für jeden Block möglichst eine Schreibmaschine zu benutzen.

Eine andere, außerordentlich wirkungsvolle Überwachung des Kraftwerks besteht darin, daß alle oder einige wichtige Meßwerte ständig daraufhin geprüft werden, ob sie einen vorgegebenen oberen Grenzwert überschreiten oder einen unteren Grenzwert unterschreiten. Auch dafür hat man schon spezielle Geräte entwickelt, die an dem Ausgang eines Meßwertumformers, der die gemessene physikalische Größe in das in der gesamten Anlage verwendete Einheitssignal (pneumatisch oder elektrisch) umwandelt, angebaut werden können und ein Signal in die Zentrale senden, wenn der Alarmfall eintritt. Man benötigt so viele Geräte, wie Meßstellen überwacht werden sollen. Die Prozeß-Rechenanlage dagegen benötigt keine besonderen Zusatzgeräte für die Alarmprüfung, sondern bildet im Rechenwerk die Differenzen des Meßwertes gegen die beiden Grenzwerte und sendet je nach Vorzeichen der Differenz ein Signal in die Zentrale. Eine akustische und optische Anzeige macht das Bedienungspersonal auf das Vorhandensein eines Alarms aufmerksam, gleichzeitig erfolgt Niederschrift des Alarmwertes mit Uhrzeit auf einer besonderen Schreibmaschine. Sind gleichzeitig mehrere Alarme vorhanden, so können sie durch Knopfdruck nacheinander rasch angezeigt werden, während etwas langsamer die Schreibmaschinenniederschrift aller Alarme erfolgt.

Die laufende Berechnung des Kesselwirkungsgrades, des Nutzwirkungsgrades und weiterer Kennzahlen gibt dem Betriebsleiter die Möglichkeit, frühzeitig Maßnahmen einzuleiten, um dem Abfall des Wirkungsgrades entgegenzuwirken und ihn auf dem aus den Liefergarantien und aus der Erfahrung bekannten höchstmöglichen Stand zu halten. Bei gleichzeitiger Überwachung mehrerer Blöcke eines Großkraftwerkes kann ferner bei schwankender Last sofort entschieden werden, welcher Block eine notwendige Lasterhöhung übernehmen soll: der mit genügend freier Kapazität und mit augenblicklich bestem Wirkungsgrad. Die Wirkungsgradberechnung erfordert den Einsatz eines elektronischen Hochgeschwindigkeits-Universal-Rechenautomaten, welcher stets Bestandteil einer Prozeß-Rechenanlage ist. Einzelheiten über die Berechnungsgrundlagen finden sich im nächsten Abschnitt.

Bei Kesseln mit gemischter Öl- und Gasfeuerung kann auf einfache Weise eine Lastregelung durch Zu- und Abschalten von Brennern erfolgen, wobei allerdings eine Anzahl Nebenbedingungen, wie Mindest- oder Höchstmengen eines Stoffes, bestimmte Mischungsverhältnisse o. ä. berücksichtigt werden müssen. Diese Brennerregelung erfordert einen beträchtlichen Aufwand, wenn sie mit konventionellen Reglern durchgeführt werden soll. Dagegen kann eine Prozeß-Rechenanlage die Regelung leicht übernehmen, da die Aufgabe auf eine Folge einfacher logischer Entscheidungen zurückgeführt werden kann. Der Problemkreis wird zur Zeit im einzelnen untersucht, über die Ergebnisse wird zu einem späteren Zeitpunkt berichtet werden.

Ähnlich ist die Situation beim Hochfahren oder Stillsetzen eines Kraftwerksblocks. Die hierzu notwendigen Operationen sind eine Folge von Stelleingriffen, die in Abhängigkeit von zahlreichen anderen Größen (Temperatur, Drücken, Drehzahlen, Spannungen o. ä.) und von der Vorgeschichte vorgenommen werden müssen. Bis heute werden diese Eingriffe ausschließlich von Hand ausgeführt. Es sind aber auch hier Untersuchungen im Gange, den Prozeß-Rechner diese Tätigkeit übernehmen zu lassen. Das Hochfahren bzw. Stillsetzen könnte schneller, sicherer und rationeller geschehen, weil bedeutend mehr Nebenbedingungen berücksichtigt werden könnten als bisher. Aller-

dings sind noch eine ganze Reihe Vorarbeiten zu leisten, insbesondere bei der Konstruktion geeigneter Stellglieder, die sich für den Anschluß an den Prozeß-Rechner eignen und statt von Hand von der Rechenanlage betätigt werden. Das erste Kraftwerk, bei dem das Hochfahren und Stillsetzen automatisch vorgenommen werden soll, ist in den USA im Bau und wird in Kürze in Betrieb gehen [2]. In Europa haben die ersten Vorarbeiten gerade begonnen.

Schließlich kann die Prozeß-Rechenanlage als übergeordneter Regler für die konventionellen Regelkreise eingesetzt werden. Sie greift dann auf Grund irgendwelcher Optimierungsgleichungen, die als Eingangsgrößen Meßwerte, gerechnete Wirkungsgrade oder andere Kennzahlen benutzen, unmittelbar über Stellglieder in den Prozeß ein, oder sie verstellt Sollwerte von Regelkreisen mit dem Ziel, die Wirtschaftlichkeit des Kraftwerkes zu einem Maximum zu machen. Die Sollwertverstellung ist — wenigstens bei allen wichtigen Größen des Prozesses — unbedingt vorzuziehen, da dann bei Störungen an der Rechenanlage sofort auf Handbetrieb umgeschaltet werden kann. In diesem Fall bleiben die Sollwerte der Regler auf ihrem letzten Wert stehen, und man fährt zwar vielleicht nicht mehr optimal, aber doch wenigstens ohne nennenswerte Störungen und mit gleicher Güte wie ohne übergeordnete Rechenanlage. Ehe es aber so weit ist, daß die Prozeß-Rechenanlage ein ganzes Kraftwerk vollautomatisch optimiert, wird noch eine beträchtliche Zeit vergehen. Man wird zunächst die Aufgaben 1 bis 5, die bereits heute realisierbar sind, dem Prozeß-Rechner übertragen, wird damit Erfahrungen sammeln und als nächsten Schritt das automatische Anfahren und Stillsetzen einführen. Erst dann wird — und dazu sind noch viele theoretische Untersuchungen und auch Versuche nötig — das volloptimierte Kraftwerk Wirklichkeit.

3. Die Wirkungsgradberechnung

Der Wirkungsgrad eines Dampfkessels ist definiert als das Verhältnis der im Kessel erzeugten Wärmemenge W_G zu der mit dem Brennstoff insgesamt hineingesteckten Wärmemenge W_B

$$\eta_K = \frac{W_G}{W_B} \cdot 100\,\%.$$

Bei Feuerungen, die sowohl mit Kohle als auch Brennöl betrieben werden, ist $W_B = W_K + W_{Öl}$. Die im Kessel erzeugte Wärme errechnet sich aus dem Wärmekreislaufschema des Blocks. Legt man ein Schema wie in Bild 1 zugrunde, so gewinnt man die erzeugte Wärme aus der Gleichung

$$W_G = Q_{HD}(i_{HD} - i_W) + Q_{ZA}(i_{ZA} - i_{ZE}) + Q_A(i_A - i_W)\,. \qquad (3)$$

Darin bedeuten W_G die Wärmemenge in Mcal/h (1 Mcal = 10^3 kcal),
Q eine Dampf- bzw. Wassermenge in t/h,
i einen Wärmeinhalt in kcal/kg,
und die Indices HD den Hochdruckfrischdampf,
W das Speisewasser,
ZA den Zwischenüberhitzeraustritt,
ZE den Zwischenüberhitzereintritt,
A die Abschlämmung.

Nicht nutzbar ist von dieser insgesamt erzeugten Wärmemenge die in der Abschlämmung enthaltene Wärmemenge; nicht in den Turbinen nutzbar ist außerdem die im Kühlturm abgeführte Wärmemenge und die im Dampf für Heizzwecke steckende Wärme. Die Entnahme von Heizdampf ist in Bild 1 nicht eingezeichnet.

Zur Berechnung von W_G ist es notwendig, sich die Wärmeinhalte von Dampf, Kondensat und Speisewasser zu verschaffen. Das geschieht, wie später näher erläutert, für Dampf mit Hilfe der Kochschen Zustandsgleichung, für Kondensat und Wasser mit Hilfe von Näherungsformeln. Die Ausgangswerte für die Enthalpieberechnungen sind Druck und Temperatur. Für jede Meßstelle wird von der

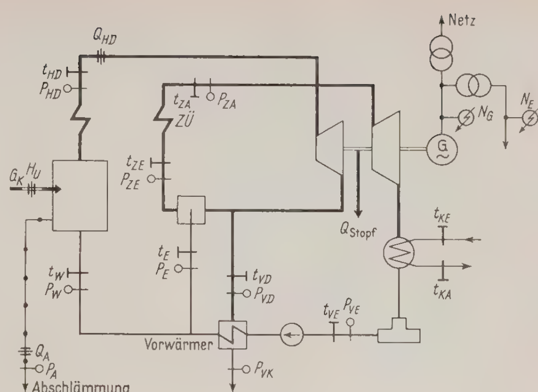


Bild 1. Wärmekreislaufschema eines Kraftwerksblocks.

Prozeß-Rechenanlage die Gleichung, in die je eine Druck- und Temperaturmessung eingehen, neu ausgerechnet, um die jeweilige Enthalpie zu erhalten.

Die Gleichung (3) muß, wenn nur die in Bild 1 eingezeichneten Meßstellen zur Verfügung stehen, umgeformt werden. Für Q_{ZA} kann die folgende Beziehung aufgestellt werden

$$Q_{ZA} = Q_{HD} + Q_E - Q_{VD} - Q_{Stopf}\,. \qquad (4)$$

Mit den Ausdrücken

$$Q_E = Q_{ZA} \frac{i_{ZE} - i_{VD}}{i_E - i_{VD}} \quad \text{(Wärmebilanz im Einspritzkühler)}$$

$$Q_{VD} = (Q_{HD} + Q_A + Q_E) \frac{i_E - i_{VE}}{i_{VD} - i_{VK}} \quad \text{(Wärmebilanz im Vorwärmer)}$$

und der empirischen Beziehung

$$Q_{Stopf} = 0{,}07 \cdot N_G - 1 \;[N_G \text{ in MW}]$$

ergibt sich nach Einsetzen in Gleichung (4) und Umformung

$$Q_{ZA} = \frac{Q_{HD} - (Q_{HD} + Q_A)\,\alpha_1 - (0{,}07\,N_G - 1)}{\alpha_2}\,, \qquad (5)$$

mit $\alpha_1 = \dfrac{i_E - i_{VE}}{i_{VD} - i_{VK}}$ und $\alpha_2 = 1 - \dfrac{i_{ZE} - i_{VD}}{i_E - i_{VD}}\left(1 - \dfrac{i_E - i_{VE}}{i_{VD} - i_{VK}}\right)$.

Damit ist W_G zu berechnen, wenn die Enthalpien bestimmt sind. Die der Enthalpie-Berechnung zugrunde liegende Kochsche Zustandsgleichung lautet [3]

$$i = i_0(t) - 3{,}82\,A \cdot \frac{P}{x^{2,82}} - P^3 \left[\frac{5\,B}{x^{14}} + \frac{32{,}6 \cdot C}{3 \cdot x^{31,6}}\right]. \qquad (6)$$

Sie gilt für den gesamten Druck- und Temperaturbereich des Satt- und Heißdampfes, aber unterhalb 450°C nur bis etwa 140 at, und unterhalb 400°C nur bis 100 at. Das ist für die meisten neuzeitlichen Kessel völlig ausreichend. Lediglich in der Nähe des kritischen Punktes treten größere Abweichungen auf. In Gleichung (6) bedeuten

i_0 den Wärmeinhalt des Dampfes im idealen Gaszustand,
P den Druck in kg/m²,
x die dimensionslose Temperatur $\dfrac{273 + t}{100}$,
t die Temperatur in °C.

Mit den Konstanten

$$A = 2{,}1483 \cdot 10^{-3} \left[\text{in } \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{kg}}\right]$$

$$B = 3{,}0655 \cdot 10^{-7} \left[\text{in } \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot \left(\frac{\text{m}^2}{\text{kg}}\right)^3\right]$$

$$C = 1{,}0257 \cdot 10^{-5} \left[\text{in } \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot \left(\frac{\text{m}^2}{\text{kg}}\right)^3\right],$$

den neuen Variablen

$$y = 0{,}2 \cdot x,$$

$$\bar{p} = P \cdot 10^{-6} = p \cdot 10^{-2}\,[p \text{ in ata}]$$

und der Näherung

$$i_0(y) = 481{,}4 + 203{,}17 \cdot y + 15{,}83 \cdot y^2$$

ergibt sich schließlich die Gleichung

$$i = D + Ey + Fy^2 - G\bar{p}y^{-2,82} - \bar{p}^3\,[H \cdot y^{-14} + J \cdot y^{-31,6}]. \tag{7}$$

Die Zahlenwerte der Konstanten sind:

$D = 481{,}4$ [in kcal/kg] $\quad E = 203{,}17$ [in kcal/kg]

$F = 15{,}83$ [in kcal/kg] $\quad G = 87{,}71 \left[\text{in } \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{kg}}\right]$

$H = 251{,}13 \left[\text{in } \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot \left(\frac{\text{m}^2}{\text{kg}}\right)^3\right] \quad J = 91{,}13 \left[\text{in } \frac{\text{kcal}}{\text{kg}} \cdot \left(\frac{\text{m}^2}{\text{kg}}\right)^3\right].$

Die Abweichung der gerechneten Werte von den Tafelwerten ist in jedem Punkte des Gültigkeitsbereiches kleiner als 0,1% bei Rechnung im Festkomma.

Zur Berechnung des Wärmeinhaltes von Wasser werden für die verschiedenen Bereiche unterschiedliche Näherungsformeln benutzt:

a) Wasser bei Sättigungstemperatur
Druckbereich 10 bis 40 ata (Kondensat)

$$i' = t_s \left[0{,}9983 - 5{,}184 \cdot 10^{-3} \frac{t_s}{100} + 6{,}912 \cdot 10^{-3} \left(\frac{t_s}{100}\right)^2\right] - 1 \quad \left[\text{in } \frac{\text{kcal}}{\text{kg}}\right]$$

$$t_s = 140 + 4{,}32\,p - 0{,}04\,p^2 \text{ [in } ^0\text{C]}$$

Ungenauigkeit kleiner als 0,5%.

b) Wasser bei Sättigungstemperatur
Druckbereich 145 bis 205 ata (Abschlämmung)

$$i' = 269{,}8 + 66{,}1\,\bar{p} + 3{,}7\,\bar{p}^3 \text{ [in kcal/kg]}$$

Ungenauigkeit kleiner als 0,2%.

c) Einspritzwasser im Druckbereich 30 bis 110 ata
und im Temperaturbereich 120 bis 180°C

$$i' = 1{,}5 + t - 3{,}6 \left(\frac{t - 120}{100}\right)^2 + 1{,}5\,(\bar{p} - 0{,}7) \text{ [kcal/kg]}$$

Ungenauigkeit kleiner als 0,1%.

d) Speisewasser im Druckbereich 130 bis 250 ata und im Temperaturbereich 100 bis 250°C

$$i' = 3 + t + 1{,}9 \left(\frac{t - 100}{100}\right)^3 + 1{,}25\,(\bar{p} - 1{,}7)\left(1{,}6 - \frac{t - 100}{100}\right)$$

Ungenauigkeit kleiner als 0,2%.

Für andere Druck- und Temperaturbereiche, die auftreten können, gelten etwas andere, aber ähnlich aufgebaute Formeln.

Die im Brennstoff enthaltene Wärmemenge kann nur bei Öl- und Gasfeuerung leicht ermittelt werden. Hier sind die Mengenmessungen und die Messungen des Heizwertes der Brennstoffe leicht möglich. Das ist bei Kohlefeuerungen nicht der Fall. Die verfeuerten Kohlemengen lassen sich nur in den seltensten Fällen messen und dann sehr ungenau. Der untere Heizwert ist bis jetzt nur kalorimetrisch meßbar, was einen großen Zeitverlust bei der Auswertung der Messung bedeutet. Allerdings sind Meßgeräte zur laufenden und augenblicklichen Bestimmung des Heizwertes in Entwicklung, wenn auch noch nicht in der Praxis verwendbar. Bei den Kohlekraftwerken muß deshalb die Wirkungsgradberechnung z. Z. noch über die Verluste, die am Kessel auftreten, erfolgen. Die Kesselverluste V_K [in Mcal/h] setzen sich zusammen aus:

Strahlungsverluste V_s,
Verlust durch Unverbranntes V_u,
Abgas- oder Schornsteinverlust V_a,

$$V_K = V_s + V_a + V_u\,.$$

Die Berechnung der Einzelverluste geschieht mit Hilfe von empirischen Formeln. Der Strahlungsverlust errechnet sich zu

$$V_s = \frac{0{,}8}{100 \cdot \mu_B} \cdot W_B, \tag{8}$$

wobei μ_B der Belastungsgrad des Kessels ist. Die Formel gilt für Nennleistungen von 250 t/h an aufwärts (Walther-Taschenbuch, S. 211).

Mit $\mu_B = \frac{Q_{HD}}{Q_{\text{Nenn}}}$ ergibt sich dann endgültig

$$V_s = \frac{0{,}8 \cdot Q_{\text{Nenn}}}{100 \cdot Q_{HD}} \cdot W_B\,. \tag{9}$$

Der Verlust durch Unverbranntes in der Schlacke, wobei auch der eventuelle Rostdurchfall mit berücksichtigt werden muß, beträgt

$$V_u = \frac{c \cdot b \cdot 7900}{(100 - b) \cdot H_u \cdot 100} \cdot W_K\,. \tag{10}$$

Darin bedeuten

- c der Aschegehalt in der Kohle in %,
- b der prozentuale Anteil brennbarer Stoffe in der Schlacke, welcher kalorimetrisch bestimmt werden muß,
- H_u der untere Heizwert der Kohle,
- W_K die in der Kohle steckende Wärmemenge (s. Walther-Taschenbuch, S. 192).

Der Verlust durch Flugkoks ist bei neuzeitlichen Anlagen wegen der Wiederaufgabe so unbedeutend, daß er zu den Restverlusten geschlagen wird.

Der Abgasverlust läßt sich in guter Näherung aus der Siegertschen Formel berechnen, wobei vorausgesetzt sei, daß vollkommene Verbrennung stattfindet, daß also kein CO und auch keine anderen brennbaren Gase in den Rauchgasen enthalten sind. Aus dem Walther-Taschenbuch, S. 200/201 findet man

$$v_a = y\,\frac{t_R - t_L}{[CO_2] + [CO]} \quad \text{in \% der im Brennstoff steckenden Wärme.}$$

Mit $[CO] = 0$ und $[CO_2] = 20 - [O_2]$ ergibt sich

$$v_a = (t_R - t_L)\,\frac{y}{20 - [O_2]},$$

wobei t_R die Rauchgastemperatur,
t_L die Lufttemperatur und
y einen Beiwert

bedeuten, der aus Tabellen zu entnehmen ist. Der Beiwert y wächst proportional mit dem CO_2-Gehalt bzw. dem O_2-Gehalt. Da die Werte für Kohle und Heizöl sehr verschieden sind, muß bei Gemischfeuerungen die Formel aufgespalten werden in einen Teil für Heizöl und einen Teil für Kohle.

Mit den Beiwerten

$$y_{\text{Öl}} = 0{,}613 - 0{,}0044 \cdot [O_2]$$

und

$$y_{\text{Kohle}} = 0{,}987 - 0{,}0156 \cdot [O_2]$$

ergibt sich somit für die Abgasverluste

$$V_a = (t_R - t_L) \left[\frac{0{,}613 - 0{,}0044 \cdot [0_2]}{20 - [0_2]} \cdot W_{öl} + \frac{0{,}987 - 0{,}0156 \cdot [0_2]}{20 - [0_2]} W_K\right]. \qquad (11)$$

Um die Verlustwärmemengen berechnen zu können, müssen die im Brennstoff zugeführten Wärmemengen W_K und $W_{öl}$ bekannt sein. Da die Kohlemenge nicht zu messen ist, muß W_K aus den übrigen Meßwerten berechnet werden; dagegen ist $W_{öl}$ über die gemessene Ölmenge $Q_{öl}$ leicht zu berechnen.

Die mit dem Brennöl dem Kessel zugeführte Wärmemenge setzt sich aus zwei Anteilen zusammen, nämlich der im Ölvorwärmer zugeführten Wärmemenge und dem Heizwert:

$$W_{öl} = [Q_V (i_V - \; i_K) + Q_{öl} H_{öl}] \; [\text{in Mcal/h}]. \qquad (12)$$

Es bedeuten

Q_V	der Niederdruckturbine entnommene Dampfmenge für den Ölvorwärmer in t/h,
$i_V = i_V \; (t_V, p_V)$	Wärmeinhalt dieses Dampfes in kcal/kg,
$i_K = i_K \; (p_K)$	Wärmeinhalt des Kondensats aus dem Ölvorwärmer bei Sättigungstemperatur,
$Q_{öl}$	Brennölmenge in t/h,
$H_{öl}$	Heizwert des Brennöls in kcal/kg.

Die insgesamt in den Kessel hineingesteckte Wärme setzt sich aus der Nutzwärme und den Verlustwärmen zusammen:

$$W_B = W_K + W_{öl} = W_G + V_s + V_u + V_a + V_{\text{unbest}} . \qquad (13)$$

Wäre W_K meßbar, so könnten alle Verluste einschließlich der unbestimmbaren — diese aus Gleichung (13) — ermittelt werden. So aber müssen die unbestimmbaren Verluste als Prozentsatz α von W_G geschätzt und als konstant eingesetzt werden.

Unter Verwendung der Gleichungen (13), (9), (10) und (11) errechnet sich W_K zu

$$W_K = \frac{(1+\alpha) W_G - \left[1 - \frac{0{,}8 \, Q_{\text{Nenn}}}{100 \; Q_{HD}} - \frac{t_R - t_L}{20 - [0_2]} (0{,}613 - 0{,}0044 \cdot [0_2])\right] W_{öl}}{1 - \frac{0{,}8 \, Q_{\text{Nenn}}}{100 \; Q_{HD}} - \frac{c \cdot b \cdot 7900}{(100 - b) \, 100 \, H_u} - \frac{t_R - t_L}{20 - [0_2]} (0{,}987 - 0{,}0156 \, [0_2])} \qquad (14)$$

Damit ist η_K aus den Werten W_G, W_K und $W_{öl}$ leicht bestimmbar. Zur Berechnung des Nutzwirkungsgrades η_N sind die Wärmemenge in der Abschlämmung, die im Ölvorwärmer und im Kühlturm abgeführte Wärme und die für Heizzwecke verwendete $(Q_H \, i_H)$ abzuziehen, so daß sich ergibt

$$\eta_N = \frac{W_G - Q_A \, i_A \quad Q_V (i_V - i_K) - Q_W \, c_W (t_{KE} - t_{KA}) - Q_H i_H}{W_K + W_{öl}} \cdot 100\%. \qquad (15)$$

Als weitere Kennzahlen interessieren die je erzeugter und je nutzbarer Megawattstunde verbrauchten Wärmemengen

$$W_1 = \frac{W_K + W_{öl} - Q_H \, i_H}{N_{\text{erz}}} \; [\text{in Mcal/MWh}],$$

$$W_2 = \frac{W_K + W_{öl} - Q_H \, i_H}{N_{\text{erz}} - N_{\text{eigen}}} \; [\text{in Mcal/MWh}]$$

und der Dampfverbrauch je erzeugter MWh

$$D = \frac{Q_{HD}}{N_{\text{erz}}} \; [\text{in t/MWh}].$$



Bild 2. Prozeß-Rechner Libratrol-500.

Für das gesamte Kraftwerk schließlich werden noch der Kohleverbrauch K je MWh und die Verdampfungsziffer V berechnet:

$$K = \frac{G_K}{N_{\text{erz}}} \; [\text{in t/MWh}],$$

$$V = \frac{Q_{HD}}{G_K}.$$

Für das Gesamtkraftwerk kann meistens die stündlich verbrauchte Kohlemenge G_K gemessen werden.

Diese Kennzahlen geben dem Betriebsingenieur schnell einen Überblick über den Zustand der einzelnen Blöcke, so daß er entsprechende Maßnahmen ergreifen kann.

4. Aufbau und Arbeitsweise der eingesetzten Prozeß-Rechenanlage

Die für die Überwachung und Wirkungsgradberechnung eines Kraftwerkes eingesetzte Prozeß-Rechenanlage Libratrol-500 (Bild 2) wurde aus dem Universal-Ziffernrechenautomaten LGP-30 [4], [5], [6] entwickelt. Die Anlagen wurden entwickelt von der Firma *Librascope* Division, General Precision, Inc., Glendale, Calif., U.S.A.; Fertigung für Europa durch *Schoppe & Faeser GmbH*, Minden (Westf.), Vertrieb für Europa durch *Eurocomp GmbH*, Minden (Westf.). Das Kernstück des Libratrol-500 ist ein fast unveränderter LGP-30, dessen Trommel um eine Pufferspur erweitert wurde und der eine Reihe Zusatzeinrichtungen für die Eingabe von Meßwerten und für die Ausgabe von Stell- und Regelsignalen erhielt [7].

Der Rechenautomat kann große Informationsmengen speichern und rasch verarbeiten. Er enthält einen Magnettrommelspeicher für 4096 Worte zu je 32 Bit einschließlich Vorzeichen und einen Pufferspeicher für 64 Worte. Der Puffer dient zur Übernahme und Ausgabe von Informationen, während im Hauptspeicher das Rechenprogramm, feste Werte und Zwischenergebnisse gespeichert werden. Das Rechenwerk führt die vier arithmetischen Rechenoperationen, logische Operationen, Organisationsbefehle und Entscheidungen aus. Das Hauptsteuerwerk sorgt dafür, daß der Informationsfluß zwischen den einzelnen Baugruppen richtig gelenkt wird, es entschlüsselt die einzelnen Befehle und sorgt für ihre Ausführung zum richtigen Zeitpunkt.

Ein zweites Steuerwerk, welches unabhängig von dem Hauptsteuerwerk gleichzeitig arbeitet, steuert die Ein- und Ausgabe von Daten (Bild 3). Es sind zahlreiche Eingabe-Ausgabe-Geräte vorgesehen: Schalter und Tastenfeld einer Schreibmaschine zur manuellen Eingabe von Daten, Lochstreifenleser zur automatischen Eingabe großer Informationsmengen, wie z. B. der Programme, Abfrager und Analog/Digital-Wandler zur Eingabe von Meßwerten,

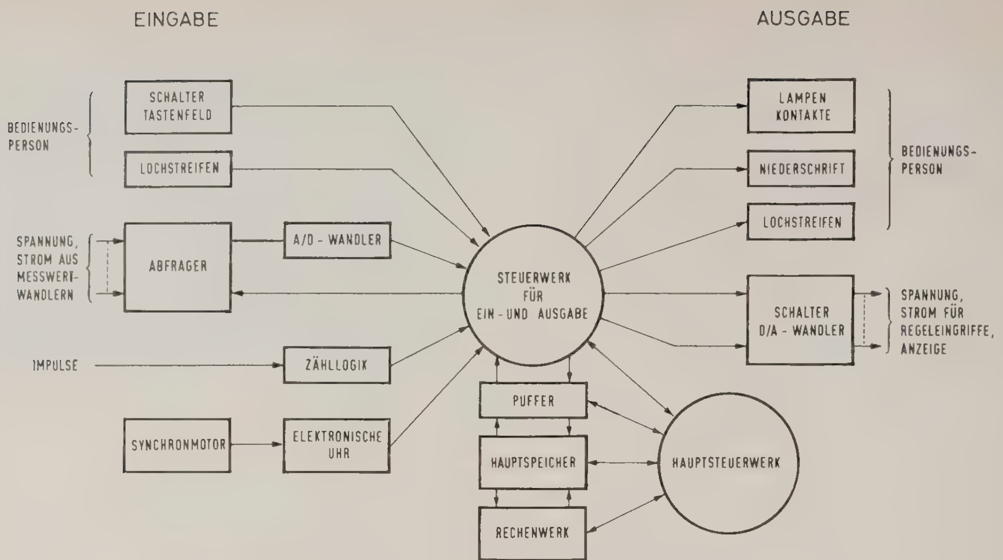


Bild 3. Schematischer Aufbau des Libratrol-500.

die in analoger Form vorliegen, elektronische Impulszähler für die kontinuierliche Zählung von Impulsen und schließlich ein Synchronmotor, der Impulse für die elektronische Uhr in Abständen von 0,1 s liefert. Sämtliche Zählwerte stehen im Pufferspeicher und können jederzeit in den Hauptspeicher zur Verarbeitung übernommen werden. Das Zählen der Impulse geschieht simultan zum Ablauf des Rechenprogramms und unterbricht dieses nicht

Der Abfrager schaltet eine Meßgröße nach der anderen an den Analog/Digital-Wandler, welcher den Wert innerhalb einer Millisekunde in eine 10-Bit-Dualzahl umwandelt und diese dann in eine Zelle des Pufferspeichers schiftet. Die Reihenfolge, in der die Meßwerte angeschaltet werden, ist beliebig. Es werden immer 8 Werte, die eine Gruppe bilden, in den Pufferspeicher übernommen und von dort aus in den Hauptspeicher transferiert. Die Übernahme einer Gruppe geschieht auf das Einsetzen der betreffenden Gruppenadresse in den Puffer hin. Die Reihenfolge, in der die Gruppen übernommen werden, ist auf diese Weise völlig beliebig und kann vom Programm her jederzeit geändert werden. Gewisse Gruppen können, falls nötig, öfter abgefragt werden als andere.

Die Meßwerte müssen in Form einer Gleichspannung oder eines Gleichstroms vorliegen. Oft ist aber ein Meßwert nur als mechanische Größe verfügbar. Dann wird der Wert mittels eines angebauten Potentiometers, das aus einer Konstantspannungsquelle gespeist wird, in eine proportionale Gleichspannung verwandelt. Der Eingangswiderstand des Analog/Digital-Wandlers beträgt mehr als 100 MOhm, so daß keine Anpassungsschwierigkeiten entstehen können.

Die Ausgabe von Ergebnissen erfolgt entweder über Schreibmaschinen (Bild 4) als Klartext-Niederschrift, über den Streifenlocher als Lochstreifen zur späteren Weiterverwertung, über Kontakte als akustisches oder optisches Signal oder schließlich über Digital/Analog-Wandler als Signal für die Verstellung von Ventilen, Motoren, Sollwerteinstellern o. ä. Die Anzahl der Digital/Analog-Wandler ist beliebig erweiterbar; jeder Wandler nimmt einen Ausgangswert auf und speichert ihn so lange, bis vom Rechnerteil ein neuer Wert eingegeben wird. Das geschieht wiederum über den Puffer, in den der Ausgangswert selbst als 10-Bit-Dualzahl und die zugehörige Adresse (5 bis 8 Bit) eingefüllt werden. Über einen Entschlüßler wird das richtige Ausgaberegister angeschaltet und die 10 Bit werden in 10 polarisierte Relais übernommen. Die 10 Kontakte dieser Relais sind mit einem Widerstandsnetzwerk beschaltet, dessen Gesamtwert so in Stufen von 2^{-10} geändert werden kann. Ein analoges Ausgangssignal kann damit mit einer Genauigkeit von 0,1% dargestellt werden.

Alarmwerte können auf vielerlei Weise angezeigt werden. Jeder auftretende Alarmfall kann in je einem der Relais der Ausgaberegister gespeichert werden, so daß gleichzeitige Alarme auch gleichzeitig angezeigt werden, indem jeder Kontakt eine Lampe eines Anzeigefeldes schaltet und jeder Lampe eine bestimmte Meßstelle zugeordnet ist. Bei 100 Meßstellen, die möglicherweise in Alarm sein können, werden 10 Ausgaberegister benötigt. Will man aber den Aufwand geringer halten, so kann ein Alarm auch durch eine spezielle Anzeige-Einheit (Bild 5), die als gesonderter Baustein im Leitstand der Zentrale eingebaut werden kann, angezeigt werden. Die Nummer der Meßstelle in Alarm erscheint als 3ziffrige Dezimalzahl in der Mitte des Feldes, Leuchtfelder zu beiden Seiten geben an, ob der Meßwert zu hoch oder zu niedrig ist. Durch Betätigung eines Druckknopfes (zwischen den beiden Schreibmaschinen in Bild 4) wird die Anzeige gelöscht, ein eventuell gleichzeitig vorhandener Alarm erscheint dann sofort bei Loslassen des Knopfes. Auf diese Weise kann man sich durch rasches Drücken des Löschknopfes davon überzeugen, ob mehrere Alarme gleichzeitig vorliegen. Das ist unter Umständen wichtig, wenn ein Alarm unmittelbar nach seinem Entstehen erkannt werden muß, um Gefahren für die Kraft-

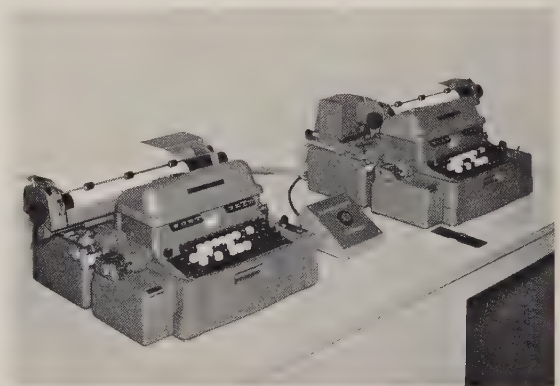


Bild 4. Schreibmaschinen zur Niederschrift von Meßwerten, Alarmen o. ä.



Bild 5. Alarmanzeige.

werksanlage abzuwenden. Zur weiteren direkten Überwachung des Alarmwertes können Kompensations-Kleinschreiber über Handschalter an die betreffende Meßstelle angeschaltet werden. Nach Beendigung eines Abfragezyklus werden alle innerhalb des Zyklus neu entstandenen Alarme von einer eigens dafür vorgesehenen Schreibmaschine mit Uhrzeit, Meßstellennummer und Wert geschrieben. Außerdem erscheinen in der normalen Meßwert-Niederschrift alle Alarmwerte in Rot.

Besondere Anforderungen werden an die Prozeß-Rechner in bezug auf Zuverlässigkeit und Betriebssicherheit gestellt. Deshalb wurde als Rechnerteil im Libratrol-500 der seit langem bewährte LGP-30 benutzt, der inzwischen in über 500 Exemplaren auf dem Markt ist und besonders wegen seiner geringen Störanfälligkeit bekannt wurde. Der neuartige logische Aufbau und die Mehrfachausnutzung vieler Bauteile ermöglichen eine sehr niedrige Zahl von Bauelementen, beispielsweise nur 15 Flip-Flops für die gesamte Logik einschließlich Ein- und Ausgabe. Bestmögliche Qualität der Komponenten und sorgfältige Dimensionierung der Schaltkreise sorgen außerdem für hohe Betriebssicherheit. An allen kritischen Stellen wie Flip-Flops, Invertern, Verstärkern oder Impulsformern werden Langlebensdauer-Röhren verwendet, die wegen ihrer guten Temperaturstabilität, der hohen zulässigen Umgebungstemperatur, der Gleichmäßigkeit der Betriebsdaten und der höheren Arbeitsfrequenzen zuverlässige Schaltungen liefern. Die niedrige Zahl von nur 160 Röhren macht eine vorbeugende Wartung leicht, so daß beginnendes Nachlassen der Röhrengüte frühzeitig erkannt werden kann. Die Torschaltungen sind durchweg mit Germanium-Dioden oder Schalttransistoren aufgebaut, für Relaistreiberstufen und andere unkritische Schaltkreise werden ebenfalls Transistoren benutzt.

Trotzdem müssen natürlich Vorkehrungen getroffen werden, um das richtige Arbeiten des Prozeß-Rechners ständig zu überwachen und bei völligem Ausfall zu verhindern, daß an den überwachten Anlagen Schäden entstehen. Sinkt beispielsweise die Netzspannung so stark ab, daß die stabilisierten Netzgeräte das nicht mehr ausregeln können, so tritt ein Alarm in Tätigkeit, der ein akustisches Signal bewirkt oder — falls der Prozeß-Rechner selbst in die Regelkreise eingreift — auf Handverstellung der Sollwerte umschaltet. Ferner läuft in gewissen, programmierbaren Zeitabständen ein Prüfprogramm ab, das eine Referenzspannung wie einen normalen Meßwert übernimmt, verschiedene Rechenoperationen damit ausführt, so daß alle wesentlichen Funktionen der Anlage benutzt und damit geprüft werden, und schließlich den so errechneten Prüfwert am Ende eines jeden Schreibzyklus druckt, mit dem Sollwert vergleicht und bei unzulässigen Abweichungen einen Alarm gibt.

Den Entwurf für die Überwachungszentrale eines Kraftwerks zeigt Bild 6. Rechts steht der Libratrol-500 mit der Eingabe-Ausgabe-Lochstreifen-Schreibmaschine, die gleichzeitig die Alarme druckt. In der Mitte befindet sich die Alarmkonsole mit 4 Kleinschreibern, der Alarmanzeige und einem Digital-Voltmeter, das wahlweise an alle Eingangswerte angeschaltet werden kann. Links stehen 2 Schreibmaschinen für die normale Meßwert-Registrierung (data logging).

5. Die Programmierung für den Libratrol 500

Der Libratrol-500 benutzt die gleiche Befehlsliste wie der LGP-30, es ist lediglich der Überlaufsprung —Z hinzugefügt worden. In Tabelle 1 sind die benutzbaren 17 Befehle im einzelnen erläutert.

Kennbuchstabe	Befehl	Erklärung
B *m n*	Bringen	Ersetze Akkumulatorinhalt durch Inhalt des Speichers in Spur *m*, Zelle *n*
A *m n*	Addieren	Addiere Inhalt der Speicherzelle *m n* zum Akkumulatorinhalt
S *m n*	Subtrahieren	Subtrahiere Inhalt der Speicherzelle *m n* vom Akkumulatorinhalt
M *m n*	Multiplizieren	Multipliziere Inhalt der Speicherzelle *m n* mit Akkumulatorinhalt und behalte obere Hälfte im Akkumulator
N *m n*	Multiplizieren	Wie M, aber untere Hälfte behalten
D *m n*	Dividieren	Dividiere Akkumulatorinhalt durch Inhalt der Speicherzelle *m n* und behalte aufgerundeten Quotienten im Akkumulator
E *m n*	Extrakt	Bilde das logische Produkt aus Akkumulatorinhalt und Inhalt der Speicherzelle *m n*
H *m n*	Halten	Schreibe Akkumulatorinhalt in Speicherzelle *m n* und behalte die Information im Akkumulator
C *m n*	Löschen	Wie H, aber Akkumulator anschließend löschen
Y *m n*	Adressenersatz	Schreibe nur den Adressenteil des Akkumulatorinhaltes in die Speicherzelle *m n*
R *m n*	Adressenrückkehr	Addiere „1" zum Inhalt des Befehlszählers und schreibe diese Zahl in die Speicherzelle *m n*
U *m n*	Sprung	Setze Befehlszähler auf Adresse *m n*, so daß der nächste Befehl aus Speicherzelle *m n* genommen wird
T *m n*	Test	Setze Befehlszähler auf *m n*, falls Akkumulatorinhalt negativ ist, sonst Befehlszähler nicht ändern
I	Eingabe	Der Akkumulator wird vom Lochstreifenleser oder von der Schreibmaschine gefüllt. Übernahme von Werten aus Pufferspeicher erfolgt mit der Befehlsfolge B m_1n_1, H m_2n_2, wobei m_1n_1 eine Zelle des Puffers und m_2n_2 eine Zelle des Hauptspeichers ist. Füllen des Puffers geschieht auf Einsetzen einer Adresse in eine bestimmte Pufferzelle hin
P *m*	Ausgabe	Das Symbol, welches durch den Adressenteil *m* bezeichnet wird, wird vom Flexowriter geschrieben oder vom Locher gelocht. Das Symbol kann auch eine Schreibmaschinenfunktion sein Ausgabe für Kontakte und D/A-Wandler erfolgt über Pufferspeicher wie bei Eingabe
Z *m*	Halt Bedingter Sprung	*m* = 0: unbedingter Halt *m* = 4, 8, 16, 32: nächster Befehl wird übersprungen, falls entsprechende Taste gedrückt
Z *m*	Überlaufsprung	Bei Überlauf nach Addition, Subtraktion oder Division wird der nächste Befehl übersprungen

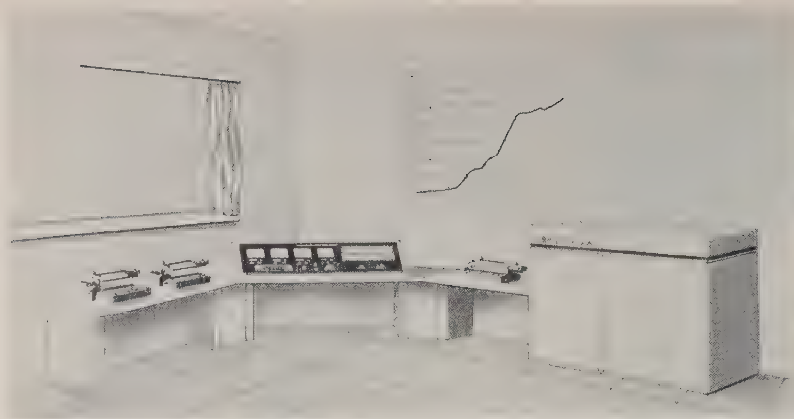


Bild 6. Überwachungszentrale für ein Kraftwerk.

Ein Strukturprogramm zur Überwachung und Wirkungsgradberechnung mehrerer Kraftwerksblöcke ist in den Bildern 7 bis 9 dargestellt. Nach dem ersten Start muß immer die Uhrzeit eingegeben werden. Dann wird der erste Meßwert übernommen und an Hand eines Kennzeichens, das in der Meßstellennummer enthalten ist, festgestellt, ob der Wert linearisiert, ob er mit Druck allein oder auch mit Temperatur korrigiert oder ob lediglich ein Maßstabsfaktor angebracht werden muß. Dann wird er auf Alarm geprüft, was in Bild 8 etwas detaillierter dargestellt ist. Ist der Abfragezyklus noch nicht beendet, d. h. sind noch nicht alle Meßwerte übernommen, so wird der Zählindex j um 1 erhöht und der nächste Wert wird eingelesen. Ist aber $j = Z$ (Z = Gesamtzahl der Meßwerte), so verläßt das Programm diese Schleife, und es wird ein Codewort entschlüsselt, das eine der folgenden Tätigkeiten definiert:

1. Gerade übernommene Werte ausdrucken.
2. Aus den seit dem letzten Schreibzyklus übernommenen Werten Mittelwerte bilden, Wirkungsgrad rechnen und ausdrucken.
3. 5 Minuten lang Mittelwerte bilden, unter Umständen rechnen und ausdrucken.
4. 5. 6. wie 3., aber 10, 30 oder 60 Minuten lang.

Das Codewort wird mittels eines Drehschalters in der Alarmkonsole eingegeben. Die 10 V-Referenzspannung liegt an einem mit dem Schalter verbundenen Potentiometer, und die jeweilige Teilspannung stellt nach der Umwandlung in die Dualzahl das Codewort dar, wobei wegen der Ablesetoleranz nur ein Teil der Bit benutzt wird. Das Potentiometer wird wie jede andere Meßstelle in jedem Abfragezyklus einmal abgefragt.

Durch Vergleich mit der im Pufferspeicher stehenden Uhrzeit kann dann festgestellt werden, ob die Sollzeit für das Drucken bzw. die Wirkungsgradberechnung erreicht ist. Wenn nicht, werden weiter jeder Wert zu der bisher aufgelaufenen Summe aus früheren Abfragezyklen addiert und eventuelle Alarme geschrieben, bis $j = Z$ ist. Dann wird ein neuer Abfragezyklus eingeleitet. Ist aber die Sollzeit erreicht, so werden die Summen durch die Anzahl der addierten Werte dividiert, um die Mittelwerte zu erhalten, und ein Schreibzyklus eingeleitet. Sind die Meß- und Rechenwerte eines Blocks geschrieben, so wird auf die nächste Schreibmaschine umgeschaltet, damit die Werte des neuen Blocks auf eine andere Schreibmaschine kommen. Ist der letzte Block beendet, so wird wieder ein neuer Abfragezyklus eingeleitet.

Die Prüfung eines Meßwertes auf Alarm und seine Anzeige sind in Bild 8 etwas detaillierter dargestellt. Die Anschlußstellen I und II verweisen auf das Hauptprogramm in Bild 7. Liegt ein Meßwert außerhalb seines normalen Bereiches, so wird ein Kennwort gebildet, welches angibt, um welche Meßstellennummer es sich handelt und ob der Wert größer oder kleiner als der entsprechende Grenzwert ist. Das Kennwort wird in einem reservierten Teil des Hauptspeichers, dem Kennwortspeicher KWS, an der obersten freien Stelle gespeichert. Das an oberster Stelle im KWS stehende Kennwort wird dann in die Alarmanzeige transportiert, falls deren Eingangsspeicher frei ist. Die Alarmanzeige kann nämlich mehrere Kennworte speichern, das oberste wird stets angezeigt. Wird die Anzeige manuell gelöscht, so rücken automatisch alle Kennworte nach und geben so den Eingangsspeicher frei, der dann wieder nach-

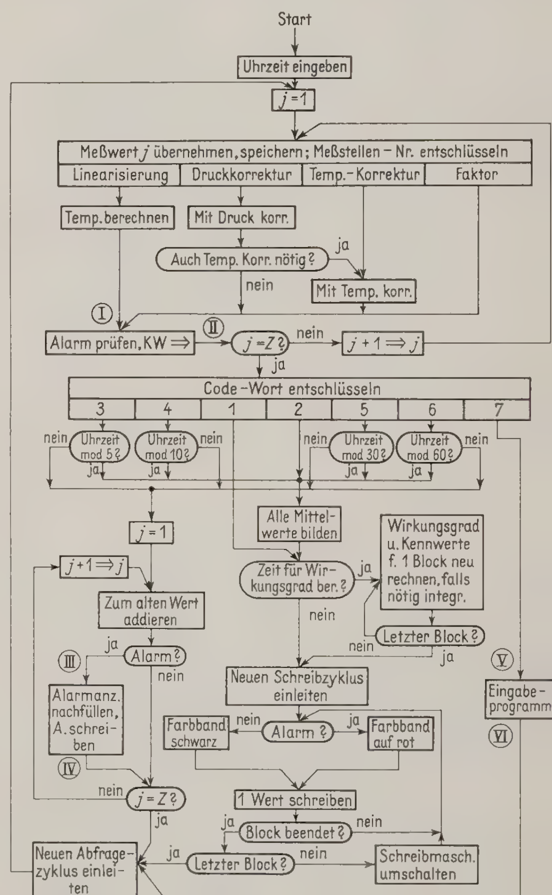


Bild 7. Strukturprogramm für die Überwachung eines Kraftwerkes.

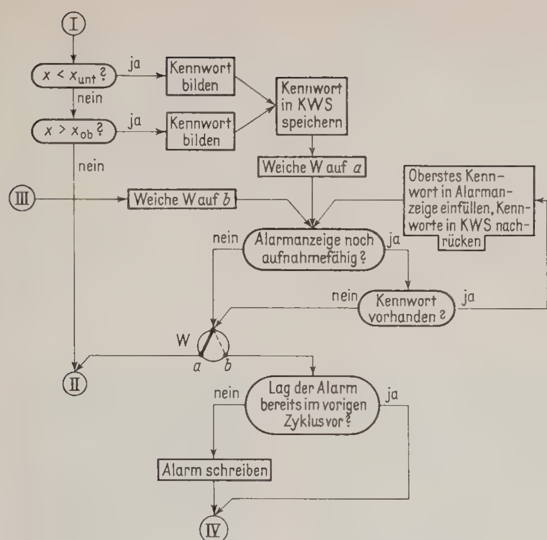


Bild 8. Teilprogramm für die Alarmprüfung und Alarmanzeige.

gefüllt werden kann, wenn noch ein Kennwort im KWS stehen sollte. Im KWS rücken die Kennworte ebenfalls nach. Ist die Alarmanzeige gefüllt oder kein Kennwort im KWS, so wird dieses Teilprogramm bei Anschlußstelle II verlassen, was durch das Setzen der Weiche W bei Eingang von I her bestimmt wurde.

Erfolgt der Eingang bei III, so wird zunächst wieder versucht, die Alarmanzeige zu füllen. Dann geht es aber über die Stellung b der Weiche weiter zur Prüfung, ob der Alarm der betreffenden Meßstelle bereits im vorigen Abfragezyklus vorlag. Wenn ja, wird er nämlich nicht noch einmal geschrieben, um zu vermeiden, daß bei einem länger andauernden Alarm die Schreibmaschine jedesmal in Tätigkeit gesetzt wird. Ein Alarm wird vielmehr nur einmal, und zwar nach seinem ersten Auftreten, geschrieben. Danach wird das Programm bei IV verlassen. Die Aufgabe des Teilprogrammes III—IV ist es u. a., die Alarmanzeige laufend mit Kennworten zu versehen, falls welche da sind, damit alle Alarme eines Abfragezyklus auch angezeigt werden können. Wird die Alarmanzeige nicht gelöscht, so können zwar gleichzeitig vorliegende Alarme nicht direkt angezeigt werden, geschrieben werden sie aber auf alle Fälle. Mit dem manuellen Löschen der Alarmanzeige soll der Bediener gleichzeitig quittieren, daß er den Alarm zur Kenntnis genommen hat.

Müssen Änderungen des Programms oder neue Grenzwerte eingegeben werden, so ist der Wahlschalter auf 7 zu stellen und Teilprogramm V—VI (Bild 9) tritt in Tätigkeit. Ein Licht an der Schreibmaschine zeigt an, daß jetzt Informationen über das Tastenfeld eingegeben werden können. Der erste Anschlag ist ein Eingabewort, dann folgt die eigentliche Information, die je nach dem Eingabewort verschieden interpretiert wird: entweder als neue Uhrzeit, neuer Grenzwert, neue Gesamtzahl der Meßstellen oder Sprung auf das Unterprogramm zur Eingabe eines neuen Lochstreifens.

6. Vorzüge der Prozeß-Rechner

Die modernen Prozeß-Rechenanlagen haben gegenüber Einzweckanlagen den Vorteil, daß sie wegen ihrer Universalität für alle vorkommenden Aufgaben gleich gut eingesetzt werden können. Die digitale Meßwertregistrierung (data logging), die Prüfung der Meßwerte auf Alarm und die Anzeige der Alarme können ebensoleicht vorgenommen werden wie komplizierte Rechnungen zur Überwachung oder zur Erforschung der tieferen Zusammenhänge eines Prozesses, wie logische Entscheidungen oder wie der Einbau in den geschlossenen Regelkreis zur automatischen Steuerung oder Optimierung von Anlagen der Verfahrenstechnik. Oft wird es sogar so sein, daß das gleiche Gerät am gleichen Prozeß alle diese Funktionen Stufe um Stufe nacheinander übernimmt. Der Übergang von einer Aufgabe zur anderen vollzieht sich durch die Eingabe eines neuen Programm-Lochstreifens in den Speicher. An dem Prozeß-Rechner selbst braucht nichts geändert zu werden, allenfalls müssen Eingabe- oder Ausgabe-Geräte ergänzt werden. Auch wenn ein bestehendes Eingabe-, Rechen- oder Ausgabeprogramm in einzelnen Punkten, etwa bei Verbesserungen der Berechnungsformeln, Berechnung zusätzlicher Kennwerte, Erfassung von mehr Eingangsgrößen, Integration über längere Zeiträume o. ä., abgeändert werden soll, so ist es lediglich nötig, einen zusätzlichen Lochstreifen anzufertigen, der eingelesen wird und die gewünschten Änderungen im gespeicherten Programm bewirkt.

Ein Prozeß-Rechner kann auch — wenn er gerade am Prozeß nicht benötigt wird — als gewöhnlicher Universal-Rechner für technisch-wissenschaftliche Berechnungen eingesetzt werden. Das ist unter Umständen ebenso in den Pausen zwischen den Abfragezyklen bzw. Schreibzyklen möglich, wobei die auszuführenden Programme sämtlich in der Trommel stehen können und der Wechsel in Abhängigkeit von der Uhrzeit oder anderen Kriterien automatisch geschieht.

Wird schließlich der Prozeß-Rechner als übergeordneter Regler zur Optimierung eingesetzt, wobei er entweder die Sollwerte für die konventionellen Regler verstellt oder selbst über Stellglieder direkt eingreift, so kann er wegen seiner Fähigkeiten, sehr rasch zu rechnen und viele Prozeßvariable über komplizierte Beziehungen miteinander zu verknüpfen, weit mehr Einflüsse berücksichtigen und bei geringerem Aufwand weit genauer arbeiten als etwa eine aus Analogbausteinen aufgebaute Anlage. Bei steigender Kompliziertheit der auszuführenden Funktionen steigt bei Benutzung konventioneller Analogregelungen der Aufwand enorm an, während beim Prozeß-Rechner lediglich das einzugebende Programm umfangreicher wird und vielleicht etwas mehr Zeit benötigt.

Wenn es gelingt, bei großen Kraftwerken oder überhaupt bei Prozessen mit hohen Umsätzen durch bessere Überwachung und ständige Kenntnis des Wirkungsgrades diesen im Mittel um nur ½ bis 1% zu verbessern, so hat sich ein Prozeß-Rechner bereits nach 1 bis 2 Jahren voll amortisiert.

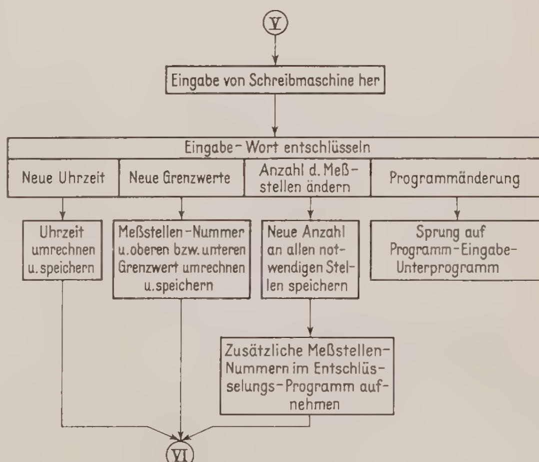


Bild 9. Eingabeprogramm für neue Werte.

Anhang: Technische Daten des Prozeß-Rechners, Libratrol-500

Rechenautomat	Typ	Universal-Ziffernrechner Einadressen-Serienmaschine
	Zahlendarstellung	Rein dual, Festkomma
	Zahlenlänge	30 Bit und Vorzeichen
	Anzahl der Befehle	17
	Speichertyp	Magnettrommel mit 4000 U/min
	Hauptspeicher	4096 Worte
	Puffer	64 Worte
	Grundtakt	140 kHz
	Rechenzeiten	0,25 ms für Addition 15 ms für Multiplikation
	Zugriffszeit	1 ms bei Bestzeitprogrammierung 15 ms maximal, 8 ms im Mittel
	Bestückung	160 Langlebensdauer-Röhren 1600 Germaniumdioden 110 Transistoren
Eingabe	Digital	Lochstreifen mit 10 Zeichen/s Schreibmaschine, Impulse
	Analog	Abfrager, Analog/Digital-Wandler
	Abfrager	Normal 120 Eingänge in 15 Gruppen zu je 8 Kanälen, erweiterbar in Gruppen zu 8, Aufbau aus Relais mit quecksilberbenetzten, versiegelten Kontakten
	Geschwindigkeit	75 Worte/s einschl. Konvertierung
	Reihenfolge	8er Gruppen beliebig adressierbar, Auswahl vom Programm
	A/D-Wandler	Einschachtelungstyp, dualer Ausgang, 10 Bit
	Geschwindigkeit	1 ms je Umwandlung
	Genauigkeit	±0,1% vom Gesamtbereich
	Eingang	Gleichspannung 0 bis 1 V oder 0 bis 10 V
	Eingangsimpedanz	> 100 MOhm
	Uhrzeit	Interner elektronischer Zähler, rein dual, Inkremente von 0,1 s
Ausgabe	Digital	Streifenlocher mit 10 Zeichen/s, Schreibmaschine, Kontakte
	Analog	Spannung bzw. Widerstand über Schalter und Digital/Analog-Wandler
	Geschwindigkeit	65 Werte/s maximal
	Reihenfolge	Beliebig, vom Programm auswählbar
	D/A-Wandler	Relaisgeschaltetes Widerstandsnetzwerk
Allgemeines	Größe	1,75×0,80 m; 1,10 m hoch
	Gewicht	500 kg
	Anschlußwert	220 V, 50 Hz, einphasig, 12 A

Literatur

[1] *W. Dannemann*, Meßumformer mit Bartonzellen und anderen Meßwerken, Regelungstechnische Praxis 2 (1960), H. 4, S. 173—179.

[2] *A. L. Guidero*, Computer Control of Huntington Beach Station, ISA-Journal 7 (Sept. 1960), No. 9, S. 84—89.

[3] VDI-Wasserdampftafeln 1956, Springer-Verlag und R. Oldenbourg, S. 13.

[4] *H. Schoppe*, Der programmgesteuerte Ziffernrechenautomat LGP-30, S & F-Technische Mitteilungen, H. 1, März 1958. S. 2—8.

[5] *K.-J. Lesemann*, Das Programmieren beim Ziffernrechenautomaten LGP-30, S & F-Technische Mitteilungen, H. 1, März 1958, S. 9—16.

[6] *Ders.*, Interne Organisation eines kleinen programmgesteuerten Rechenautomaten, ZAMM 38 (1958), H. 7/8, S. 268 bis 273.

[7] *Ders.*, Prozeß-Rechenanlage Libratrol-500, S & F-Technische Mitteilungen, H. 1, 1961.

Die Aufzeichnung der kritischen Ummagnetisierungskurve von dünnen magnetischen Schichten

Display of critical field characteristics in thin magnetic films

von W. KOLB

Zentral-Laboratorium der Siemens & Halske AG, München

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 3, S. 110—113
Manuskripteingang: 10. 3. 1961

Dünne magnetische Schichten gewinnen Bedeutung als Speicher und Schaltelemente. Das Schaltverhalten der Schichten hängt ab von Größe und Richtung des Steuerfeldes; die Grenze zwischen den Bereichen verschiedener Schaltvorgänge wird durch die sogenannte kritische Kurve gegeben. Zu ihrer Aufzeichnung magnetisieren zwei zueinander senkrechte Wechselfelder die Schicht um und steuern zugleich die X- und Y-Ablenkung eines Oszillographen. Die Ummagnetisierungssignale der Schicht erzeugen Leuchtpunkte auf dem Bildschirm. Einige Beispiele zeigen Anwendung und Bedeutung des Verfahrens.

Thin magnetic films are becoming more and more important for use as storage and switching elements. The switching characteristics of such magnetic layers depend on the magnitude and direction of the controlling field; the boundary between the domaines of different switching operations is defined by the so-called "critical curve." To obtain a display of this curve, two perpendicular alternating fields magnetize the layer and simultaneously control the X- and Y-systems of an oscilloscope. The signals resulting from magnetization changes within the layer appear as light spots on the screen. Some examples are given to demonstrate the application and importance of this procedure.

1. Einleitung

Dünne ferromagnetische Schichten (rd. 80% Ni; 20% Fe) mit einer Schichtdicke von etwa 1000 Å versprechen hinsichtlich ihrer Schalteigenschaften Vorteile als Speicher- und Schaltelemente gegenüber den bisher verwendeten Speichermedien. Diese Schalteigenschaften beruhen im wesentlichen auf der magnetischen Anisotropie der Schichten; diese bedingt in der Schichtebene eine Vorzugslage der Magnetisierung — die leichte Richtung — und senkrecht dazu eine schwere Richtung der Magnetisierbarkeit.

Wegen der Anisotropie sind die Vorgänge bei der Ummagnetisierung stark von der Richtung des Steuerfeldes abhängig. Wir erkennen dies an den in der leichten und schweren Richtung gemessenen Hystereseschleifen (Bild 1).

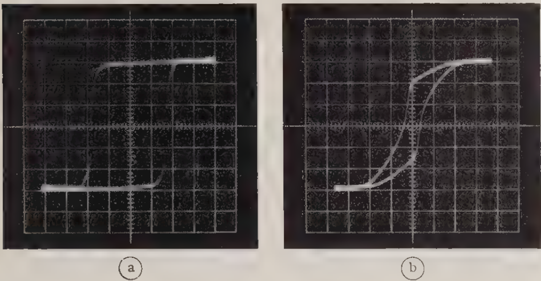


Bild 1. Hystereseschleifen einer dünnen magnetischen Schicht a) in leichter Richtung, b) in schwerer Richtung (Maßstab: horizontal 0,65 A/cm).

Die Ummagnetisierung einer dünnen Schicht kann durch Wandern der Domänenwände oder — schneller — durch Drehung der Magnetisierungsrichtung erfolgen. Für die Anwendung in der Speichertechnik ist der Fall besonders interessant, bei dem sich die dünne Schicht während der Ummagnetisierung wie ein magnetischer Einbereich verhält. Hierbei drehen sich alle magnetischen Momente örtlich und zeitlich gleichphasig (kohärent). Den Betrag und die Richtung des Steuerfeldes, das eine Ummagnetisierung einleitet, gibt die sogenannte kritische Kurve an. Als kritische Kurve für die kohärente Drehung der Magnetisierung wurde eine Astroide abgeleitet [1] (Bild 2).

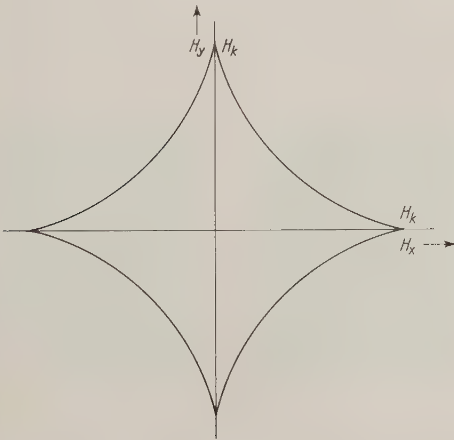


Bild 2. Astroide: theoretische Grenzkurve der Ummagnetisierung, H_k = Anisotropiefeldstärke.

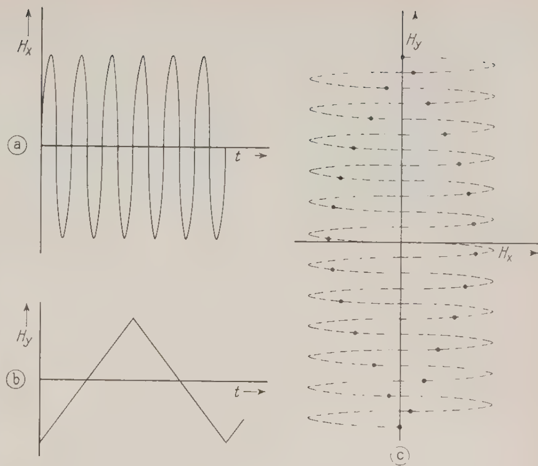


Bild 3. Zum Meßprinzip:

a) Zeitlicher Verlauf des Ummagnetisierungsfeldes in leichter Richtung.
b) Zeitlicher Verlauf des Hilfsfeldes in schwerer Richtung.
c) Überlagerung der beiden Steuerfelder. Die strichlierte Kurve gibt Betrag und Richtung der resultierenden Feldstärke. Die eingezeichneten Punkte stellen die Orte der Ummagnetisierung der Schicht dar.

Messungen mit kurzen Impulsen zeigen, daß die tatsächliche Form der kritischen Kurve für eine dünne magnetische Schicht vom theoretischen Kurvenverlauf oft erheblich abweicht [2]. Quasistatische Messungen [3, 4] erfassen neben Drehungen der Magnetisierung stets auch Wandbewegungen; beide Vorgänge ergeben verschiedene kritische Kurven, die gleichfalls teilweise vom theoretischen Verlauf abweichen.

Im folgenden wird ein Verfahren beschrieben, die quasistatisch gemessenen kritischen Kurven einer dünnen magnetischen Schicht (d. h. die Grenzkurven der Feldstärkebereiche, in denen irreversible Rotationen oder Wandverschiebungen auftreten) auf dem Bildschirm eines Oszillographen sichtbar zu machen. Eine dafür geeignete Schaltungsanordnung wird angegeben. Dieses Verfahren ermöglicht es, die Eigenschaften einer dünnen Schicht rasch zu beurteilen und erleichtert damit z. B. serienmäßige Untersuchungen wesentlich. Die Kenntnis des Verlaufs der kritischen Kurven ist Voraussetzung für die Anwendung der dünnen Schichten.

2. Meßprinzip

Die kritische Kurve ist die Grenzkurve für irreversible Magnetisierungsänderungen in Abhängigkeit von Betrag und Richtung des Steuerfeldes. Zur Messung der kritischen Kurve werten wir das in einer Spule induzierte Ummagnetisierungssignal aus.

Die Orientierung des Steuerfeldes relativ zur Vorzugsrichtung der Schicht kann entweder durch Drehen der Schicht oder des Feldes oder aber durch die vektorielle Addition des Steuerfeldes und eines Hilfsfeldes (z. B. eines Gleichfeldes) erfolgen [4]. Zur Messung der kritischen Kurven eignet sich diese Methode der Überlagerung zweier Felder besonders gut. Dabei wird die Schicht durch ein sinusförmiges Wechselfeld in leichter Richtung ummagnetisiert (Bild 3a), während senkrecht dazu (in schwerer Richtung) ein Gleichfeld anliegt. Ummagnetisierungssignale treten dabei stets dann auf, wenn das steuernde Wechselfeld den — durch das Gleichfeld in schwerer Richtung bestimmten — kritischen Wert für irreversible Magnetisierungsänderungen

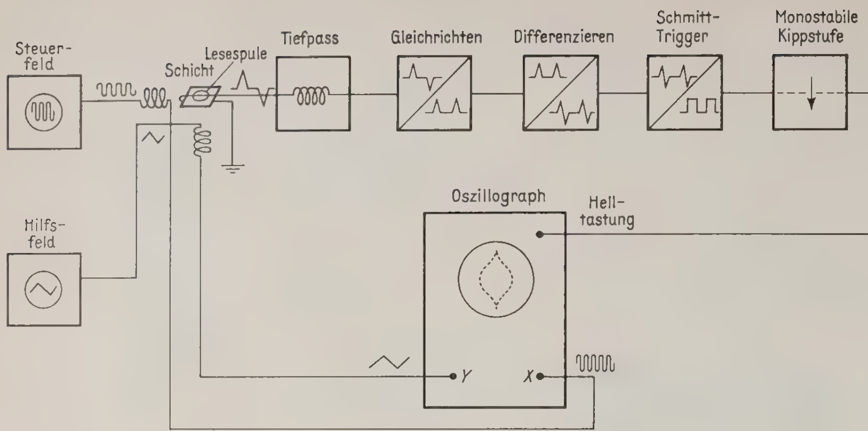


Bild 4.
Blockschaltbild.

(d. h. einen Punkt der kritischen Kurve) überschreitet. Verändert man nun die Größe des Gleichfeldes in schwerer Richtung (Bild 3b), so erhält man immer dann Ausgangssignale der Schicht, wenn die resultierende Feldstärke $\vec{H}_x + \vec{H}_y$ eine kritische Kurve schneidet (Bild 3c). Trägt man die Wertepaare $[H_x, H_y]$, bei denen Ummagnetisierungen stattfinden, in einem Diagramm auf, so erhält man die Grenzkurven der Ummagnetisierung.

Den Verlauf dieser Grenzkurven kann man auf einem Oszillographen mit zwei symmetrischen Eingängen sichtbar machen. Zu diesem Zweck liegt am X-Verstärker des Oszillographen eine Spannung, die proportional dem sinusförmigen Steuerfeld H_x in leichter Richtung ist (Bild 3a). Als Steuerfeld in der schweren Richtung wird ein langsam veränderliches Feld H_y nach Art einer Dreiecksfunktion verwendet (Bild 3b). Eine diesem Hilfsfeld proportionale Spannung steuert den Y-Verstärker des Oszillographen aus. Die Maxima der Ummagnetisierungssignale werden zur Helltastung des Oszillographen benutzt. Wir erhalten dann in jedem Magnetisierungszyklus Leuchtpunkte, sobald eine kritische Kurve bei den Feldstärken $[H_x, H_y]$ erreicht wird. Von einem Magnetisierungszyklus bis zum nächsten hat sich das Hilfsfeld bereits etwas verändert, so daß nach und nach der ganze vorgegebene Feldstärkebereich durchlaufen und dabei die Grenzkurve der Ummagnetisierung aufgezeichnet wird.

Die Leuchtpunkte können bei geeigneter Wahl der Frequenz der Sinusspannung (z. B. 500 Hz) und der Folgefrequenz der Dreieckspannung (z. B. 10 Hz) so dicht liegen, daß praktisch ein glatter Kurvenzug entsteht. Die untere Grenze für die Wahl der Wiederholungsfrequenz der Dreiecksfunktion ist durch die Nachleuchtdauer des Oszillographenschirms gegeben.

3. Meßschaltung

Bild 4 zeigt das Schaltungsprinzip. Die dünne Schicht wird, wie bereits beschrieben, mit Hilfe zweier Feldspulen in leichter und in schwerer Richtung ausgesteuert; zwei den Feldstärken proportionale Spannungen werden dem X- und dem Y-Verstärker des Oszillographen zugeführt.

Bei jeder Ummagnetisierung der Schicht wird in der Lesespule eine Signalspannung $u \sim \frac{\mathrm{d}M}{\mathrm{d}t}$ induziert. Dieses Signal durchläuft zunächst einen Tiefpaß, der die infolge der Barkhausensprünge auftretenden hochfrequenten Anteile des Signals unterdrückt. Die Signale werden gleichgerichtet und ihre Maxima werden durch Differenzieren in Nullstellen verwandelt. Die Ansprechgrenze des nachfolgenden Schmitt-Triggers wird genau auf den Nulldurchgang des differenzierten Signals eingestellt. Die rechteckförmige Ausgangsspannung des Schmitt-Triggers löst ihrerseits eine monostabile Kippstufe aus. Die positiven Ausgangsimpulse dieser Kippschaltung dienen zur Helltastung des Oszillographen.

4. Beispiele für einige kritische Kurven

Die magnetischen Eigenschaften dünner Schichten und damit auch ihre kritischen Kurven hängen stark von den Herstellungsbedingungen ab. Dabei verändert sich nicht nur die Größe der Kennwerte, wie z. B. die Koerzitivkraft H_c und die Anisotropiefeldstärke H_k, sondern auch die Form der kritischen Kurven. Ein Zusammenhang zwischen der Form der kritischen Kurven und dem Verhältnis der Koerzitivkraft H_c zur Anisotropiefeldstärke H_k besteht jedoch. Normalerweise ist $H_c < H_k$: die Schicht magnetisiert in der Nähe der leichten Richtung durch Wandbewegungen vollständig um. Ist jedoch $H_c > H_k$ (inverse Schicht), dann beginnt der Ummagnetisierungsvorgang mit einer teilweisen Drehung der Magnetisierung und wird erst bei einer größeren Feldstärke durch Wandbewegungen beendet [4].

Viele normale Schichten ($H_c < H_k$) verhalten sich jedoch wie inverse Schichten, wenn sie unter einem Winkel zur Vorzugsachse ausgesteuert werden. Bild 5a zeigt die Hystereseschleife einer solchen Schicht. Das inverse Verhalten einer Schicht erkennt man besonders deutlich am Ummagnetisierungssignal selbst; das Signal besitzt zwei Maxima. Die zugehörigen Ummagnetisierungsvorgänge lassen sich leicht voneinander unterscheiden, da bei den Wandverschiebungen das Signal eine Feinstruktur infolge der Barkhausensprünge aufweist (Bild 5b). Man erhält in dem Bereich, in dem sich die Schicht invers verhält, zwei kritische Kurven. Die eine Kurve gibt die Grenze der Ummagnetisierung durch Wandverschiebungen, die andere stellt die Grenzkurve der Ummagnetisierung durch Drehprozesse dar.

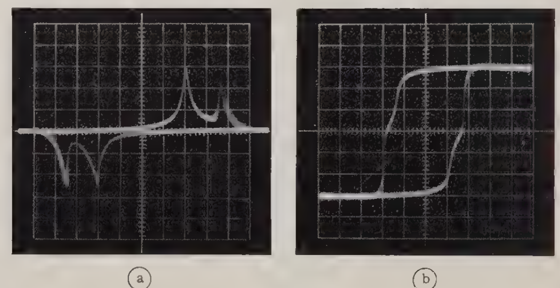


Bild 5.

a) Hystereseschleife einer dünnen Schicht mit teilweise inversem Verhalten.

b) Ummagnetisierungssignal der Schicht.

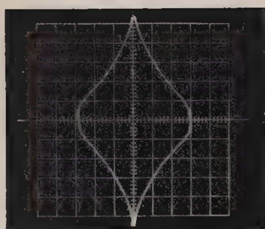
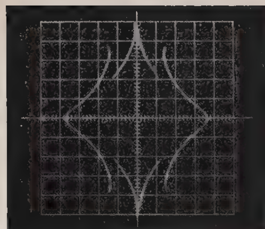
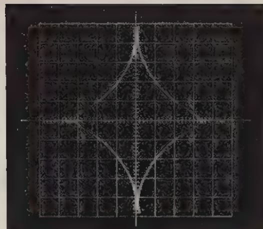
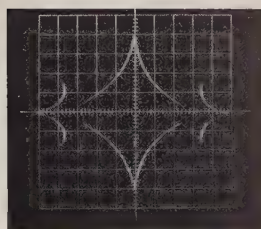





Bild 6. Kritische Kurve einer „normalen" Schicht. Koerzitivkraft $H_c = 1{,}9$ A/cm, Anisotropiefeldstärke $H_k = 3{,}7$ A/cm.

Bild 7. Kritische Kurve einer Schicht mit teilweise inversem Verhalten. $H_c = 2{,}4$ A/cm, $H_k = 2{,}8$ A/cm.

Bild 8. Kritische Kurve einer Schicht, bei der Drehschalten überwiegt. $H_c = 2{,}3$ A/cm, $H_k = 2{,}4$ A/cm.

Bild 9. Kritische Kurve einer inversen Schicht. Die innere Grenzkurve der Drehung hebt sich von der nur kurzen Kurve des Wandschaltens ab. $H_c = 3{,}1$ A/cm, $H_k = 2{,}2$ A/cm.

Die X-Achse wird dabei von der Grenzkurve der Wandverschiebungen bei der Koerzitivkraft H_c geschnitten.

Die folgenden Bilder geben einige charakteristische kritische Kurven verschiedener Schichten wieder.

Bild 6 zeigt die kritische Kurve einer Schicht, bei der das Verhältnis der Koerzitivkraft zur Anisotropiefeldstärke $H_c : H_k \approx 1 : 2$ ist. Die Kurve für die Wandbewegungen mündet hier stetig in die Grenzkurve der Drehprozesse ein.

In Bild 7 sind hingegen die kritischen Kurven für die Wandbewegungen und die Drehung der Magnetisierung deutlich voneinander getrennt. Die Schicht verhält sich in der leichten Richtung (X-Achse) normal ($H_c : H_k = 2{,}4 : 2{,}8$), sie ist aber über einen relativ weiten Winkelbereich hin invers.

Bei einer anderen Schicht (Bild 8) ist die Kurve des Wandschaltens sehr kurz. Die kritische Kurve der Drehprozesse erstreckt sich in diesem Fall fast bis zur X-Achse ($H_c \approx H_k$) und deckt sich weitgehend mit der Astroide.

Bild 9 schließlich gibt die kritischen Kurven einer inversen Schicht ($H_c : H_k = 3{,}1 : 2{,}2$) wieder. Die Kurve der Wandbewegungen liegt ganz außerhalb der Grenzkurve der Drehungen, die ihrerseits wieder ähnlich einer Astroide verläuft.

Die Beispiele zeigen, daß die nach dem beschriebenen Verfahren aufgenommenen kritischen Kurven auf einfache Weise einen raschen und eingehenden Überblick über das quasistatische Verhalten dünner magnetischer Schichten geben.

Literatur

[1] *D. O. Smith*, Magnetization Reversal and Thin Films. J. appl. Phys. 29 (1958), 3, S. 264—273.

[2] *H. Harloff, W. Kayser*, Impulsmessungen an dünnen magnetischen Schichten. Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 3, S. 113 bis 118.

[3] *E. M. Bradley, M. Prutton*, Magnetization Reversal by Rotation and Wall Motion in Thin Films of Nickel-Iron Alloys. J. Electronics and Control 6 (1959), 1, S. 81—96.

[4] *S. Methfessel, S. Middelhoek, H. Thomas*, Partial Rotation in Permalloy Films. Private Mitteilung. Erscheint 1961 im J. appl. Phys.

Impulsmessungen an dünnen magnetischen Schichten

Pulse measurements on thin magnetic films

von H. J. HARLOFF und W. KAYSER

Zentral-Laboratorium der Siemens & Halske AG, München

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 3, S. 113 - 118

Manuskripteingang: 30. 3. 1961

Dünne magnetische Schichten lassen sich in wenigen Nanosekunden ummagnetisieren, wenn man dafür sorgt, daß der Magnetisierungswechsel als „kohärente Rotation" abläuft. Für Richtung und Amplitude der erforderlichen impulsförmigen Felder gilt eine Grenzkurve, sie ist theoretisch eine Astroide. Experimentell, durch Messung mit kurzen Impulsen, findet man jedoch, daß diese Grenzkurve für erste kohärente und irreversible Rotationen von Teilbereichen der Schicht innerhalb der theoretischen Astroide liegt, ihrem Verlauf aber folgt. Für die Vollständigkeit der Magnetisierungsumkehr durch kohärente Rotationen gilt eine zweite Grenzkurve außerhalb der Astroide. Im Gebiet zwischen beiden Grenzkurven magnetisieren nur Teilbereiche der Schicht um. Mit zunehmender Dauer der Steuerimpulse können zusätzlich zu den kohärenten auch inkohärente Magnetisierungsänderungen ablaufen; die Grenzkurven für die ersten irreversiblen Rotationen weichen mit steigender Impulsdauer ab von der Astroidenform, sie nähern sich der Grenzkurve für langsame, quasistatische Magnetisierungsänderungen. Die Kenntnis der Grenzkurven bei bestimmter Steuerimpulsdauer ist Voraussetzung für die Anwendung der Schichten.

The magnetization of thin magnetic films can be reversed in a few nanoseconds if it is ensured that the reversal takes the form of a coherent rotation. The direction and amplitude of the required pulse-type fields are governed by a limiting curve which, theoretically, is an astroid. However, by experiments using measurements with short pulses it will be found that for first coherent and irreversible rotations of partial areas of the film this limiting curve lies inside the theoretical astroid,

but follows its shape. The completeness of the switching process by coherent rotations is governed by a second limiting curve lying outside the astroid. In the region between the two limiting curves, only parts of the film experience a magnetic reversal. With increasing duration of the control pulses, incoherent magnetization changes may occur in addition to the coherent changes; the limiting curves for the first irreversible rotations will deviate from the astroid shape with increasing pulse duration, and approach the limiting curve for slow quasi-static magnetization changes. A knowledge of the limiting curves valid at certain durations of the control pulses is a prerequisite for the application of the films.

1. Einleitung

Untersuchungen an dünnen magnetischen Schichten haben in den letzten Jahren wesentlich zum Verständnis der physikalischen Eigenschaften ferromagnetischer Körper beigetragen. In der nachrichtenverarbeitenden Technik gewinnen die dünnen Magnetschichten als räumlich kleine und sehr schnell schaltende Speicher- und Schaltelemente Bedeutung. Im allgemeinen werden Schichten mit einachsiger magnetischer Vorzugsrichtung in der Schichtebene verwendet. Die beiden antiparallelen „leichten Richtungen" des Magnetisierungsvektors können dann die Binärziffern 0 und 1 darstellen.

Ein Richtungswechsel der Magnetisierung eines ferromagnetischen Körpers kann allgemein (vgl. z. B. [1]) erfolgen durch:

1. irreversible Wandverschiebungen (Umkehrzeit Mikrosekunden),
2. unzusammenhängende Drehprozesse (Umkehrzeit hundertstel Mikrosekunden),
3. zusammenhängende Drehprozesse (Umkehrzeit Nanosekunden).

In anisotropen dünnen magnetischen Schichten ändert sich die Magnetisierung — auch beim Einwirken impulsförmig angelegter Magnetfelder — ebenfalls nach einem dieser drei Mechanismen oder nach mehreren neben- oder nacheinander. Welcher Vorgang dabei dominiert, hängt ab von Betrag, Richtung, Anstiegszeit und Dauer des angelegten Impulsfeldes. *Dietrich* und *Proebster* [2] haben Voraussagen [3] experimentell bestätigt, nach denen eine Magnetisierungsumkehr durch zusammenhängende Drehung der gesamten Magnetisierung in nur etwa einer Nanosekunde möglich ist.

Einen Zusammenhang zwischen den Daten der magnetischen Schicht, dem Steuerfeld und der Ummagnetisierungsart liefert die sogenannte kritische Kurve [1] (vgl. Abschnitt 2). Ihre Form ist eine Astroide; Bild 1 zeigt, wie man an Hand dieser Kurve Bereiche für die verschiedenartigen Ummagnetisierungsvorgänge abgrenzen kann. Das der Astroide zugrunde liegende Modell beschreibt jedoch, wie Messungen zeigen, das Verhalten der Schichten nur annähernd.

Gegenstand der vorliegenden Arbeit sind Meßverfahren zur Abgrenzung der verschiedenen Ummagnetisierungsbereiche bei Aussteuerung mit Magnetfeldimpulsen sehr kurzer Anstiegszeit. Untersuchungen nach diesen Verfahren geben wichtige Hinweise für die Anwendung der Schichten als Speicher- und Schaltelemente.

2. Die kritische Kurve

Der Verlauf der kritischen Kurve läßt sich theoretisch aus einer Betrachtung der magnetischen Energie E der Schicht im äußeren Magnetfeld $\vec{H}$ herleiten [1; 5]. Die Schicht sei uniaxial anisotrop, die Vorzugsachse der Magnetisierung $\vec{M}$ („leichte Achse") falle mit der x-Achse und die „schwere Achse" mit der y-Achse eines Koordinatensystems in der Schichtebene zusammen (Bild 1). Nimmt man nun an, daß

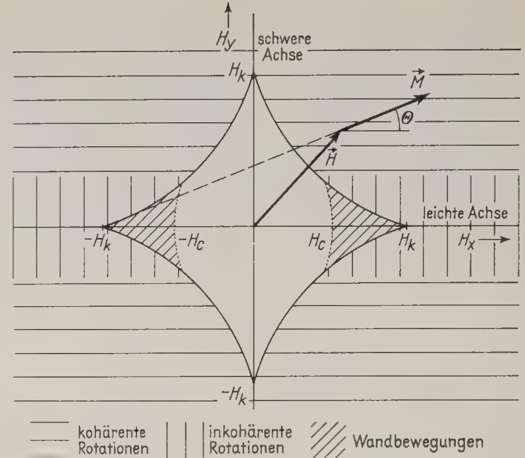


Bild 1. Die kritische Kurve $H_x^{2/3} + H_y^{2/3} = H_k^{2/3}$ und die ungefähren Bereiche verschiedenartiger Ummagnetisierung.

die Magnetisierung der gesamten Schicht stets gleichgerichtet ist (Eindomänen-Verhalten) und daß diese Richtung nur vom Anisotropiefeld und vom äußeren Feld bestimmt wird, so ist der interessierende Teil der magnetischen Energie:

$$E = E_k - \vec{M} \cdot \vec{H} = K \sin^2\Theta - MH_x \cos\Theta - MH_y \sin\Theta$$

mit E_k = Anisotropie-Energie
K = Anisotropiekonstante
Θ = Winkel zwischen leichter Achse (x-Achse) und Magnetisierung $\vec{M}$

Für kleine Feldstärken besitzt die Funktion E (Θ) zwei Minima, sie entsprechen zwei stabilen Richtungen der Magnetisierung. Für große Feldstärken existiert dagegen nur noch *ein* Energieminimum, entsprechend auch nur eine stabile Magnetisierungsrichtung. Die kritische Kurve stellt die Grenze zwischen den beiden Feldstärkebereichen dar. Man gewinnt den Verlauf der Grenzkurve aus der Bedingung für das Verschwinden des zweiten Energieminimums

$$\frac{\mathrm{d}E}{\mathrm{d}\Theta} = \frac{\mathrm{d}^2E}{\mathrm{d}\Theta^2} = 0$$

und erhält:

$$H_x^{2/3} + H_y^{2/3} = H_k^{2/3}$$

$$\text{mit } H_k = \frac{2K}{M} = \text{Anisotropiefeldstärke.}$$

Innerhalb dieser Astroide (vgl. Bild 1) sollten nach dem Eindomänenmodell nur reversible, kohärente Magnetisierungsänderungen möglich sein. Erst beim Durchdringen der Kurve sollte sich die Magnetisierung irreversibel, aber kohärent drehen.

Bei *quasistatischen* Magnetisierungsänderungen beobachtet man eine Reihe charakteristischer Abweichungen von diesem Verhalten: Bei Schichten, deren Koerzitivkraft kleiner als die Anisotropiefeldstärke ist, finden bereits innerhalb der Astroide in bestimmten Bereichen irreversible Ummagnetisierungen statt durch Entstehen und Wandern von Domänenwänden [6]. Weiter können z. B. in der Umgebung der kritischen Kurve Teile der Schicht durch partielle Rotationen ummagnetisieren; bei Aussteuerung nahe der leichten Achse beobachtet man quasistatisch nur dann irreversible Rotationen, wenn die Koerzitivkraft größer als die Anisotropiefeldstärke ist („inverse Schichten") [7]. Nach einer Sättigung in der schweren Richtung spalten die Schichten beim Abschalten des Magnetfeldes in viele

schmale Domänen auf [1], deren Wände im wesentlichen parallel zur leichten Richtung verlaufen und sich bereits bei Gegenfeldern unterhalb der Anisotropiefeldstärke verändern.

Ein übersichtliches Bild von den Bereichen der verschiedenen quasistatischen Magnetisierungsänderungen gewinnt man z. B. durch oszillographische Beobachtung der Größe $\dot{M} = f(H)$ bei sinusförmig wechselndem Feld H [9]. Weitere Aufschlüsse über das Ummagnetisierungsverhalten erhält man aus Messungen bei *impulsförmig* angelegtem Steuerfeld $\vec{H}$. Wenn die Anstiegszeit der Feldimpulse kurz gegen die material- und geometriebedingten Relaxationszeiten der Magnetisierung ist, kann die Magnetisierung nicht mehr quasistatisch dem von Null an wachsenden Steuerfeld folgen, sondern ist einem sprungförmig beginnenden und dann konstant bleibenden Steuerfeld ausgesetzt. Der Magnetisierungsvektor schwingt dann periodisch oder aperiodisch gedämpft in seine neue Gleichgewichtslage ein. Man kann z. B. mit kurzen Impulsen ohne Störung durch langsam ablaufende Vorgänge die Schwellfeldstärke für kohärente Rotationen abtasten, wie in Abschnitt 4 ausgeführt. Erst bei längerer Impulsdauer werden auch inkohärente Rotationen und Wandbewegungen miterfaßt.

3. Die Meßanordnung

Die zu untersuchenden dünnen magnetischen Schichten[1]) liegen auf der unteren Schiene eines kurzgeschlossenen Bandleiters in der Nähe des Kurzschlußendes [2] (Bild 2). Stromimpulse abwechselnder Polarität im Bandleiter erzeugen homogene magnetische Impulsfelder abwechselnder Richtung am Ort der Schicht. Zusätzliche Magnetfelder — erzeugt durch drehbare Helmholtzspulen — gestatten, die Richtung des resultierenden Steuerfeldes zu ändern, sie dienen zur Vormagnetisierung und kompensieren störende Gleichfelder, z. B. das Erdfeld. Durch verschiedenartige Führung der Leseleitung innerhalb des Bandleiters kann man entweder die longitudinale oder die transversale Komponente der Magnetisierungsänderung in der Schicht ($\dot{M}_x$ oder $\dot{M}_y$) messen [2].

Die magnetischen Impulsfelder und damit auch die felderzeugenden Stromimpulse im Bandleiter sollen eine Anstiegszeit unter 0,5 ns aufweisen, Stromstärken bis zu etwa 10 A werden benötigt. Derartige Impulse lassen sich am leichtesten durch Entladen von Koaxialkabeln über koaxial eingebaute, mit Quecksilber benetzte Relaiskontakte erzeugen (Bild 3). Die Länge der Ladekabel bestimmt die jeweilige Impulsdauer. Impulse abwechselnder Polarität erhält man z. B. durch abwechselndes Entladen zweier

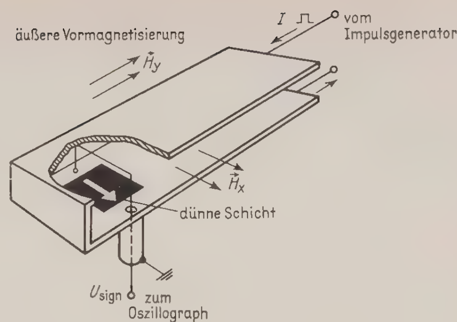


Bild 2. Bandleiteraufbau zur Messung der Transversalkomponente $\dot{M}_y$ der Magnetisierungsänderung bei Impulsaussteuerung. Der Pfeil in der dünnen Schicht deutet die Vorzugsrichtung an.

verschiedenpolig aufgeladener Kabel. Die beiden Kabel werden in einem T-Stück zusammengeführt. Der Einfluß dieser Stoßstelle bleibt vernachlässigbar, wenn ein dritter Quecksilber-Relaiskontakt im T-Stück jeweils nur eines der beiden Ladekabel an den Bandleiter schaltet. Unerwünschte Reflexionen werden an den offenen Enden der Ladekabel mit Hilfe von Diodennetzwerken unterdrückt[2]). Auch die Ströme für die Helmholtzspulen werden durch Relais geschaltet. Ein Programmgenerator steuert sämtliche Relaiswicklungen und liefert ein veränderbares Impulsprogramm. Die Ausgangssignale ($\dot{M}_x$; $\dot{M}_y$) der Schicht werden mit einem Lumatron-Abtastoszillographen [8] gemessen, dessen Eigenanstiegszeit zirka 0,4 ns beträgt.

4. Die Messung von Grenzkurven für irreversible, kohärente Rotationen

Variiert man in der beschriebenen Meßanordnung die Richtung, den Betrag — und als Parameter auch die Dauer — der für die Schicht wirksamen Impulsfelder, so beobachtet man immer dann eine charakteristische Formänderung der Ausgangssignale, wenn das resultierende Feld eine der bei Impulsaussteuerung gültigen Bereichsgrenzen durchschreitet.

Das Messen der Grenzkurve für den Beginn des kohärenten Rotationsschaltens soll als *erstes Beispiel* näher beschrieben werden (Bild 4). Die Schicht wird in schwerer Richtung (positive y-Richtung) durch ein veränderbares Gleichfeld H_g vormagnetisiert. In der leichten Richtung wirken ab-

[1]) Die Schichten (82% Ni, 18% Fe) sind als kreisförmige Flecken von 8 mm Durchmesser und rd. 800 Å Stärke auf 1 cm² großen Glasträgern niedergeschlagen.

[2]) Der Impulsgenerator wurde von Herrn Dr.-Ing. H. Jürgens, Zentrallaboratorium S&H AG, entwickelt.

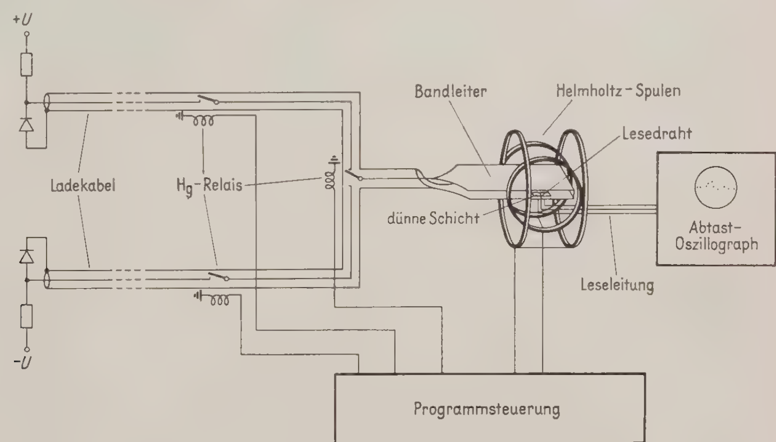


Bild 3. Meßanordnung.

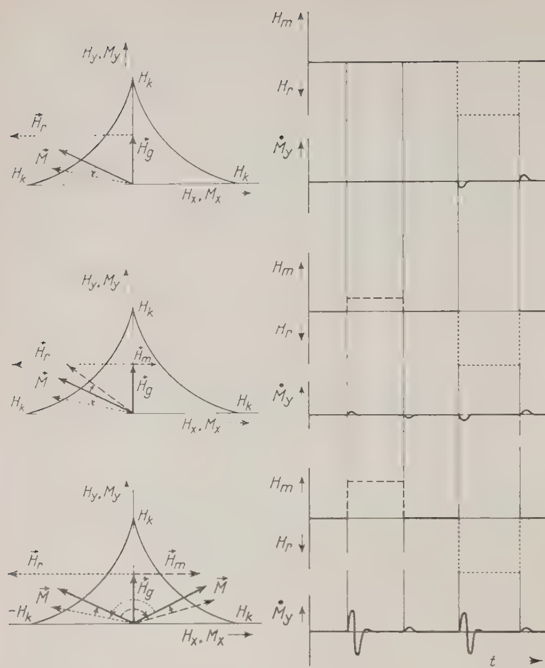


Bild 4. Verfahren zur Messung der Grenzkurve irreversibler Rotationen.

Linke Spalte: Feld- und Magnetisierungsrichtungen,
rechte Spalte: zeitlicher Verlauf der Steuerimpulse und der transversalen Megnetisierungsänderung bei verschiedenen Meßimpulsfeldstärken.

obere Zeile: $H_m = 0$
mittlere Zeile: $H_m{}^{2/3} + H_g{}^{2/3} < H_k{}^{2/3}$
untere Zeile: $H_m{}^{2/3} + H_g{}^{2/3} > H_k{}^{2/3}$
$\Big\}$ $H_g < H_k;\ H_r > H_k$

wechselnd ein in der Amplitude variabler Meßimpuls H_m (positive x-Richtung) und ein konstanter Rückstellimpuls $H_r > H_k$ (negative x-Richtung). Setzt man nun zur Veranschaulichung des Meßprinzips die Gültigkeit des Astroidenmodells für die Schichtmagnetisierung voraus, so kann man an Hand der Astroide konstruktiv die jeweilige Richtung der Magnetisierung und hieraus die zu erwartende Form der Ausgangssignale finden.

Für drei kennzeichnende Fälle sind in Bild 4 die Vektoren $\vec{H}_g$, $\vec{H}_m$, $\vec{H}_r$ und $\vec{M}$ eingetragen, geändert ist jeweils nur die Größe des Impulsfeldes H_m. Drehsinn, Drehwinkel und Drehgeschwindigkeit des Vektors $\vec{M}$ — in Bild 4 durch Anfangs- und Endlage sowie Drehpfeil angedeutet — bestimmen die Form der Ausgangssignale.

Die von der transversalen Magnetisierungsänderung $\dot{M}_y$ erzeugten Signale sind im Impulsdiagramm des Bildes 4 skizziert. Eine charakteristische Formänderung dieser Signale beobachtet man bei Variation des Impulsfeldes $\vec{H}_m$ dann, wenn die resultierende Feldstärke $\vec{H}_g + \vec{H}_m$ die Grenzkurve durchschreitet (mittlere gegen untere Bildzeile).

Als Beispiel zeigt Bild 5 die bei konstantem Gleichfeld $\vec{H}_g$ und konstantem Rückstellimpulsfeld $\vec{H}_r$ zu Beginn des Rückstellimpulses auftretenden Signale für die fünf Fälle:

a) $\vec{H}_m$ liegt innerhalb der Grenzkurve (obere und mittlere Zeile in Bild 4),
b) $\vec{H}_m$ erreicht die Grenzkurve (Übergang zwischen mittlerer und unterer Zeile in Bild 4),
c) $\vec{H}_m$ überschreitet etwas die Grenzkurve,
d) $\vec{H}_m$ überschreitet die Grenzkurve weiter (untere Zeile in Bild 4),
e) $\vec{H}_m$ überschreitet die Grenzkurve so weit, daß die Schicht vollständig ummagnetisiert wird.

Variiert man nun außerdem als Parameter die Gleichfeldstärke H_g, so kann man durch Beobachten der Signaländerungen den Verlauf der Grenzkurve punktweise bestimmen.

Eine auf diese Weise aufgenommene Kurve zeigt Bild 6. Die durch Kreuze bezeichneten Meßpunkte geben die Feldstärken an, bei denen — von kleineren Feldstärken kommend — erste irreversible Rotationen stattfinden. Zum Vergleich ist die aus der niederfrequent gemessenen Anisotropiefeldstärke H_k errechnete Astroide eingezeichnet. Unter den gegebenen Meßbedingungen (Dauer der Impulse 4 ns; Amplitude des Rückstellimpulses $H_r > H_k$) setzen also bereits innerhalb der Astroide irreversible Rotationen ein.

Beim Messen dieser Grenzkurve ist durch die kurze Dauer (4 ns) der Steuerimpulse sichergestellt, daß nur sehr schnelle, praktisch kohärente, irreversible Rotationen ablaufen können. Zunächst nehmen nur Teile der Schicht an diesen Rotationen teil [4], wie der Amplitudenunterschied der Signale in Bild 5 zeigt. Mit zunehmender Amplitude des Meßimpulses wird die Ummagnetisierung vollständiger. In Bild 7 ist der an der irreversiblen Rotation teilnehmende

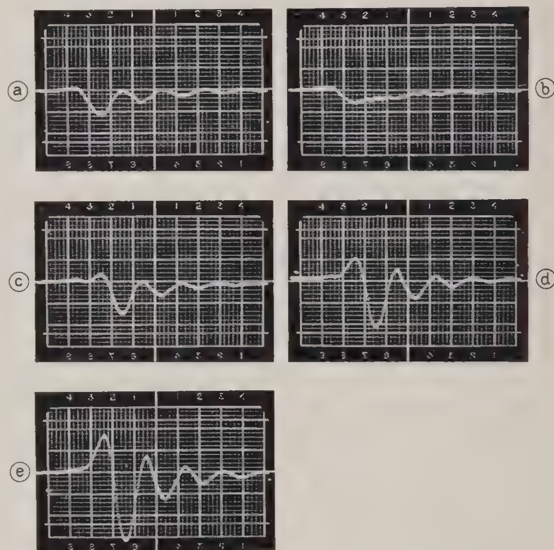


Bild 5. Lesesignale $U \sim \dot{M}_y$ zu Beginn des Rückstellimpulses.
Horizontalmaßstab: 0,5 ns/große Einheit

Schichtdaten: Dicke rd. 750 Å.
Zusammensetzung 82% Ni, 18% Fe,
$H_c = 1{,}7$ Oe,
$H_k = 4{,}5$ Oe

Meßbedingungen: $H_g = \text{const} = 1{,}4$ Oe,
$H_r = \text{const} = 5$ Oe,
H_m variiert

a) $H_m = 0$ bis $H_m = 1{,}3$ Oe	reversible Rotation
b) $H_m = 1{,}4$ Oe	erste irreversible Vorgänge
c) $H_m = 1{,}7$ Oe	unvollständiges Rotationsschalten
d) $H_m = 1{,}9$ Oe	unvollständiges Rotationsschalten
e) $H_m = 3{,}9$ Oe	vollständiges Rotationsschalten

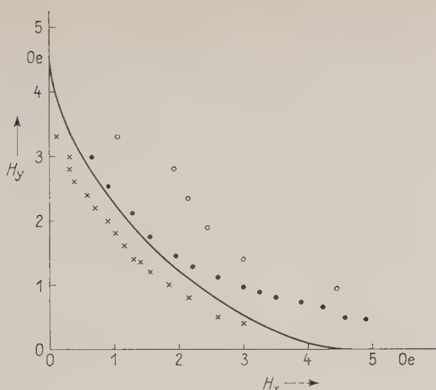


Bild 6. Grenzkurven für die Ummagnetisierung durch Steuerimpulse von 4 ns Dauer. Schicht wie in Bild 5.

——— Theoretische kritische Kurve (Astroide)

Messung nach dem ersten Beispiel:

× × × Einsetzen irreversibler Rotationen

○ ○ ○ Vollständige Ummagnetisierung durch kohärente Rotation

Messung nach dem zweiten Beispiel:

• • • Grenzkurve für symmetrische Aussteuerung

Magnetisierungsanteil ΔM — gewonnen durch Integration der Ausgangssignale zu Beginn des Rückstellimpulses — als Funktion der Meßimpulsfeldstärke H_m aufgetragen; Rückstellimpulsfeld H_r und Gleichfeld H_g sind dabei konstant gehalten. Aus dieser speziellen Magnetisierungskurve $\Delta M = f(H_m)$ liest man diejenige Meßimpulsfeldstärke ab, mit der die Schicht praktisch vollständig[3]) ummagnetisiert wird. Wie für den Beginn kohärenter Rotationen kann man also auch für deren „Vollständigkeit" eine — allerdings weniger scharfe — Grenzkurve messen. Im vorliegenden Fall (Bild 6) liegt diese zweite Grenzkurve (kreisförmige Meßpunkte) außerhalb der Astroide.

Im *zweiten Beispiel* wird die Amplitude des Rückstellimpulses nicht konstant gehalten, sondern gemeinsam mit der Amplitude des Meßimpulses als Parameter verändert: symmetrische Impulsaussteuerung $H_m = H_r$. Meßvariable ist das Gleichfeld H_g. Wie im ersten Beispiel soll die Grenze zwischen reversiblen Rotationen und kohärenten irreversiblen Rotationen gemessen werden.

Die bei der Messung dieser Grenzkurve auftretenden Signale — sie sind wiederum proportional zur Magnetisierungsänderung $\dot{M}_y$ — zeigt Bild 8. Die Impulsamplituden $H_m = H_r < H_k$ sind konstant gehalten, das Gleichfeld wird ausgehend von einem Wert $H_g > H_k$ vermindert. Eine erste charakteristische Signaländerung beobachtet man im Bereich der Anisotropiefeldstärke H_k, wie ein Vergleich zwischen dem Bild 8a ($H_g > H_k$) und dem Bild 8b ($H_g < H_k$) zeigt. Eine zweite Signaländerung tritt auf, wenn das resultierende Feld die zu messende Grenze durchschreitet (Bild 8c). Den Kurvenverlauf erhält man wiederum punktweise durch Variation der Impulsamplituden $H_m = H_r$. Die Meßpunkte (Bild 6) entsprechen den Feldstärken, bei denen der negative Signalanteil (Bild 8c) gerade verschwindet.

Bei dieser Art des Messens wird dieSchicht — im Gegensatz zum ersten Beispiel — *nicht* durch einen konstanten Rückstellimpuls $H_r > H_k$ in eine stets gleiche Ausgangslage gebracht. Die Grenzkurve für symmetrische Impulsaussteuerung weicht von der im ersten Beispiel beschriebenen Grenzkurve für erste irreversible Rotationen ab; teilweise folgt sie nahezu der theoretischen kritischen Kurve, wie die Meßpunkte in Bild 6 zeigen.

[3]) Soweit dies bei der gewählten Dauer der Steuerimpulse möglich ist, vgl. Abschnitt 5. Überdies gibt es meist noch Restbereiche anderer Magnetisierungsrichtungen, die erst bei höheren Feldstärken ummagnetisiert werden.

5. Messungen unter Berücksichtigung von inkohärenten Rotationen und Wandbewegungen

Im vorigen Abschnitt wurde bereits gesagt, daß schnelle, kohärente Drehprozesse die Schicht häufig nur unvollständig ummagnetisieren können. Bild 7 zeigte den Einfluß der Impulsamplitude auf die Vollständigkeit der Ummagnetisierung. Die steigende Steuerfeldstärke zwingt einen zunehmenden Anteil der Magnetisierung zur kohärenten Rotation.

Bei längerer Dauer der Steuerimpulse kann die Ummagnetisierung durch *inkohärente* Vorgänge (Rotationen und

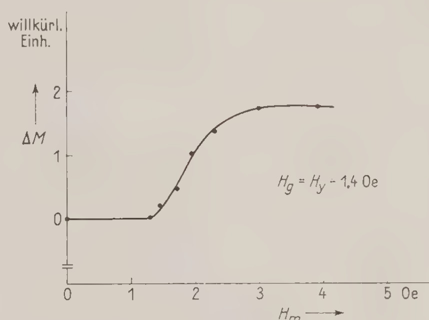


Bild 7. Anteil der am kohärenten Rotationsschalten teilnehmenden Magnetisierung als Funktion der Meßimpulsfeldstärke. Vertikalmaßstab in willkürlicher Einheit.

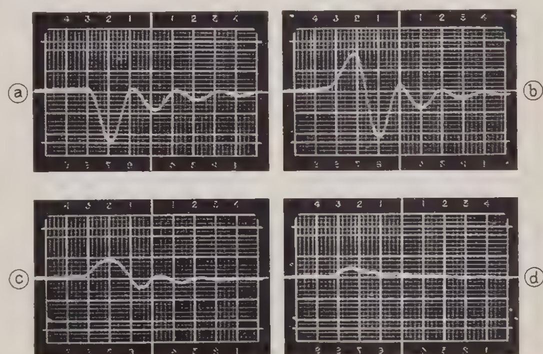


Bild 8. Lesesignale $U \sim \dot{M}_y$ bei symmetrischer Impulsaussteuerung; Impulsdauer 4 ns. Schicht wie in Bild 5.

Horizontalmaßstab:	0,5 ns/große Einheit
Meßbedingungen:	$H_m = H_y = 3{,}25$ Oe = const, H_g variiert
a) $H_g > H_k$	kohärente Rotation
b) $H_g < H_k$; $H_g^{2/3} + H_m^{2/3} > H_k^{2/3}$	kohärentes Rotationsschalten
c) $H_g^{2/3} + H_m^{2/3} \approx H_k^{2/3}$	Aufhören des kohärenten Rotationsschaltens
d) $H_g^{2/3} + H_m^{2/3} < H_k^{2/3}$	reversible Rotation

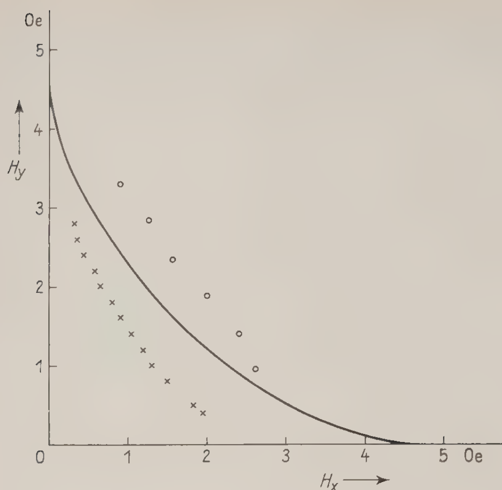


Bild 9. Grenzkurven für die Ummagnetisierung durch Steuerimpulse von 100 ns Dauer. Schicht wie in Bild 5.
Theoretische kritische Kurve (Astroide)
× × × Beginn der Ummagnetisierung
○ ○ ○ Vollständige Ummagnetisierung

Wandbewegungen) ergänzt werden [4]. Bild 9 zeigt wiederum Grenzkurven für den Beginn und für die „Vollständigkeit" irreversibler Rotationen, jetzt aber gemessen mit einer Meß- und Rückstellimpulsdauer von 100 ns. Man beachte, daß auch jetzt — wie in Bild 6 — bei der Messung nur die schnell, praktisch kohärent rotierenden Magnetisierungsanteile erfaßt werden. Die irreversiblen Rotationen setzen, verglichen mit der Messung bei 4 ns Steuerimpulsdauer, schon bei kleineren Meßimpulsfeldstärken ein und sind auch bei kleineren Feldstärken vollständig. Weitere Messungen mit variierter Impulsdauer bestätigen, daß für jede Steuerimpulsdauer eine besondere Grenzkurve gilt.

Der Einfluß inkohärenter Vorgänge, die als Folge des Meßimpulses ablaufen, ist also bereits in den ersten Nanosekunden des Rückstellimpulses merklich. Zur Erklärung kann man annehmen, daß die Domänenanordnung in der Schicht nach Ende des Meßimpulses — und damit auch vor Beginn des Rückstellimpulses — von der Dauer der Impulse abhängt und die Schwellfeldstärke für den Beginn irreversibler Prozesse bestimmt.

Reicht die Dauer der Steuerimpulse auch noch für den Ablauf von Wandbewegungen aus, so fällt die Grenzkurve für den Beginn irreversibler Prozesse praktisch mit der nach dem Verfahren von *Kolb* [9] niederfrequent gemessenen Grenzkurve für quasistatische Magnetisierungsänderungen zusammen. In Bild 10 sind die Grenzkurven für den Beginn der Ummagnetisierung bei verschiedener Steuerimpulsdauer[4]) zusammengefaßt und mit der niederfrequent gemessenen Grenzkurve verglichen.

Wegen der z. B. herstellungsbedingten Betrags- und Richtungsstreuung der Anisotropie einer dünnen magnetischen Schicht ist die Anisotropiefeldstärke H_k der Schicht nur als Mittelwert und die theoretische kritische Kurve (Astroide) nur als mittlere Kurve definiert. Die Anisotropiestreuung ist z. B. mit Hilfe des Faradayeffekts meßbar [10]. In Bild 10 ist der auf Grund einer solchen Messung zu erwartende Schwankungsbereich der kritischen Kurve schraffiert. Die mit einer Impulsdauer von 4 ns gemessene Grenzkurve fällt mit dem unteren Rand des Schwankungsbereichs zusammen. Bei dieser Steuerimpulsdauer finden also erste irreversible Rotationen in Teilbereichen der Schicht dann statt, wenn für diese Teilbereiche die kritische Feldstärke erreicht wird.

[4]) Die Dauer der Rückstellimpulse konnte aus apparativen Gründen nur maximal 100 ns betragen.

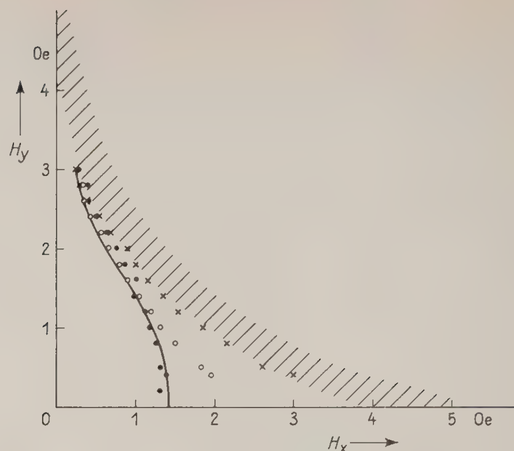


Bild 10. Grenzkurven für den Beginn der Ummagnetisierung bei verschiedener Steuerimpulsdauer. Schicht wie in Bild 5.
× × × Meß- und Rückstellimpulsdauer 4 ns
○ ○ ○ Meß- und Rückstellimpulsdauer 100 ns
. . . Meßimpulsdauer 2 ms, Rückstellimpulsdauer 100 ns
—·— niederfrequent gemessene Kurve [9]
/ / / Schwankungsbereich der kritischen Kurve

Die Ergebnisse zeigen, daß für verschiedene Dauer der Steuerimpulse jeweils andere Grenzkurven für Beginn und Vollständigkeit der Ummagnetisierung gelten. Die Kenntnis des Kurvenverlaufs und damit der Bereiche, in denen die Steuerfelder bei bestimmter Impulsdauer nach Betrag und Richtung liegen müssen, ist jedoch eine der Voraussetzungen für die Anwendung der Schichten.

Literatur

[1] *C. D. Olson* and *A. V. Pohm*, Flux Reversal in Thin Films of 82% Ni, 18% Fe. J. appl. Phys. *29*, 274 (1958).

[2] *W. Dietrich* and *W. E. Proebster*, Millimicrosecond Magnetization Reversal in Thin Magnetic Films. IBM-J. *3*, 375 (1959).

W. E. Proebster, Dünne magnetische Schichten als Speicher- und Schaltkreiselemente. Elektron. Rechenanl. *1* (1959), S. 164—171.

[3] *R. L. Conger* and *F. C. Essig*, Resonance and Reversal Phenomena in Ferromagnetic Films. Phys. Rev. *104*, 915 (1956).

[4] *F. B. Humphrey* and *E. M. Gyorgy*, Flux Reversal in Soft Ferromagnetics. J. appl. Phys. *30*, 935 (1959).

[5] *E. C. Stoner* and *E. P. Wohlfahrt*, A Mechanism of Magnetic Hysteresis in Heterogenous Alloys. Phil. Trans. Roy. Soc. A *240*, 599 (1948).

[6] *E. M. Bradley* and *M. Prutton*, Magnetization Reversal by Rotation and Wall Motion in Thin Films of Nickel-Iron Alloys. J. Electronics and Control *6*, 81 (1959).

[7] *S. Methfessel*, *S. Middelhoek* and *H. Thomas*, Partial Rotation in Permalloy Films. Private Mitteilung; erscheint 1961 im J. appl. Phys.

[8] *W. E. Bushor*, Sample Method Displays Millimicrosecond Pulses. Electronics *32*, No 31 (1960), S. 69.

[9] *W. Kolb*, Die Aufzeichnung der kritischen Ummagnetisierungskurve von dünnen magnetischen Schichten. Elektron. Rechenanl. *3* (1961) (im selben Heft).

[10] *E. Feldtkeller*, Feldinduzierte und Einfallswinkel-Anisotropie in dünnen Nickel-Eisen-Schichten. Z. ang. Phys. *13*, 74 (1961).

Analoge Rechenelemente als Abtaster, Speicher und Laufzeitglieder

Analog computing devices for sampling, storage and delay

von A. KLEY und G. MEYER-BRÖTZ

Forschungsinstitut der Telefunken GmbH, Ulm (Donau)

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 3, S. 119—122
Manuskripteingang: 20. 2. 1961

Bei der Berechnung und Simulierung kontinuierlicher linearer Systeme mit einem elektronischen Analogrechner ist die Integration die fundamentale Rechenoperation. An die Stelle des Integrators tritt bei der Untersuchung von diskontinuierlich arbeitenden Systemen der Abtaster, der die Eingangszeitfunktion zu den Abtastzeitpunkten mißt und über eine Abtastperiode speichert. In diesem Aufsatz werden analoge Rechenelemente zum Abtasten und Speichern beschrieben, die mit Integratoren und zusätzlichen Relais aufgebaut werden können. Besonders einfache Schaltungen erhält man dabei, wenn die Steuerrelais der Integratoren vom Schaltfeld her erregt werden können. Beim Aufbau von Abtasterketten ergibt sich durch die Notwendigkeit der Zwischenspeicherung ein erheblicher Aufwand an Integratoren, der durch eine einfache Zusatzschaltung, bei der die Zwischenspeicherung in einem Kondensator erfolgt, erheblich verringert werden kann. Diese Zusatzschaltung ermöglicht auch eine besonders einfache Realisierung einiger spezieller Differenzengleichungsglieder und Extrapolatoren.

Integration is the most fundamental computing operation for calculating and simulating continuous linear systems on analog computers. To examine discontinuous systems, the integrator is replaced by a sampling unit which measures at given check intervals the input time function and stores it for the duration of one sampling interval. The present paper describes analog computer elements for sampling and storage operation, which can be verified by integrator units and additional relays. Certain simple circuits are obtained if the relays controlling the integrator units are fed via the patch panel. The construction of sampling chains leads to heavy expenditure, due to the necessity of intermediate storage. This can be partly avoided through simple additional circuitry employing a capacitor for the storage operation. The same additional circuitry also features an exceptionally easy verification of certain special difference equation units and extrapolators.

1. Über diskontinuierliche zeitliche Prozesse

Die Verknüpfung der kontinuierlich veränderlichen Zeitfunktionen am Eingang $e(t)$ und Ausgang $a(t)$ von linearen Systemen der Regelungstechnik oder Nachrichtenübertragung wird durch gewöhnliche Differentialgleichungen mit konstanten Koeffizienten beschrieben.

$$a^{(k)}(t) + c_1 a^{(k-1)}(t) + \cdots + c_k a(t) = d_0 e^{(k)}(t) + d_1 e^{(k-1)}(t) + \cdots + d_k e(t) \quad (1)$$

Bei Vorgabe von k Anfangswerten ist die höchste Ableitung $a^{(k)}$ durch eine Linearkombination der k niedrigeren Ableitungen der Ausgangsfunktion und die Störfunktion und ihre Ableitungen gegeben. Eine Methode für die mathematische Behandlung solcher Systeme ist die Laplace-Transformation. Durch die Anwendung kontinuierlich arbeitender Regler oder Filter ist eine Verbesserung des Zeitverhaltens solcher Systeme möglich.

Das Studium von zeitlichen Prozessen, die durch eine Differentialgleichung (1) beschrieben werden, wird oft vorteilhaft mit einem elektronischen Analogrechner vorgenommen. Das Kernstück für die Nachbildung des Systems auf dem Analogrechner ist dabei der Integrator, bei dem der Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgröße gegeben ist durch

$$a(t) = -\int_0^t e(t)\,\mathrm{d}t + a(0). \quad (2)$$

Durch eine Kettenschaltung von Integratoren beschafft man sich ausgehend von der höchsten Ableitung $a^{(k)}$ die niedrigeren Ableitungen $a^{(k-1)}$, $a^{(k-2)}$, ... a, deren Linearkombination nach Gl. (1) die Lösung der Differentialgleichung (1) liefert (Bild 1).

Eine andere wichtige Klasse von Systemen der Nachrichtenverarbeitung bilden die Abtastsysteme und Pulsmodulationssysteme in der Regelungs- und Nachrichtentechnik, bei denen die Zeitfunktionen nicht kontinuierlich, sondern in regelmäßig wiederkehrenden Zeitpunkten gemessen werden (digitale Meßgeräte, zählende Drehzahlmesser, Analyseapparate, Radargeräte). Eine kontinuierliche Eingangsgröße $e(t)$ wird durch einen Abtaster zu den Zeitpunkten 0, T_a, $2\,T_a$, ... abgetastet und für die Dauer einer Abtastperiode T_a konstant gehalten (Bild 2), so daß gilt

$$a(t) = e(nT_a) \qquad \text{für } nT_a \leq t < (n+1)\,T_a. \quad (3)$$

Betrachtet man in solchen diskontinuierlich arbeitenden Systemen die Zeitfunktionen nur für Argumente, die ganzzahlige Vielfache der Abtastperiode betragen, so werden diese Systeme von linearen Differenzengleichungen mit diskontinuierlichen Variablen beschrieben

$$a(nT_a) + c_1\,a([n-1]T_a) + \cdots + c_k\,a([n-k]T_a) = d_0\,e(nT_a) + d_1\,e([n-1]T_a) + \cdots + d_k\,e([n-k]T_a). \quad (4)$$

Sie stellen Rekursionsformeln dar, weil man ausgehend von k Anfangswerten $a(0)$, $a(T_a)$, ... $a([k-1]\,T_a)$ die Werte $a(k\,T_a)$, $a([k+1]\,T_a)$ ... $a(n\,T_a)$ der Ausgangsgröße aus Gl. (4) rekursiv berechnen kann. $a(n\,T_a)$ ist der Wert der Ausgangsgröße im Zeitintervall $n\,T_a \leq t < (n+1)\,T_a$, zu deren Ermittlung die k früheren Werte $a([n-1]\,T_a)$, $a([n-2]\,T_a)$, $a([n-k]\,T_a)$ vorliegen müssen. Methoden zur mathematischen Behandlung solcher Systeme sind die diskrete Laplace-Transformation [1] oder die z-Transformation [2]. Es ist oft zweckmäßig, durch den Einbau diskontinuierlich arbeitender — also durch Differenzengleichungen beschriebener — Korrekturglieder oder Entzerrer das Übertragungsverhalten von Abtastsystemen zu verbessern; dabei ergeben sich ganz neue Möglichkeiten [3].

Es ist ersichtlich, daß zur Nachbildung von diskontinuierlich arbeitenden, durch Differenzengleichungen beschriebenen Systemen auf dem Analogrechner Speichermöglichkeiten für die k vorangegangenen Werte vorgesehen sein müssen [3, 4]. An die Stelle der Integratorkette in Bild 1 tritt hier die Abtasterkette (Bild 3), ein analoges Schieberegister, in dem die Eingangsgröße um $k\,T_a$ verschoben, d. h. für eine Zeit $k\,T_a$ gespeichert wird. Alle Abtaster der Kette arbeiten mit gleicher Frequenz und Phasenlage.

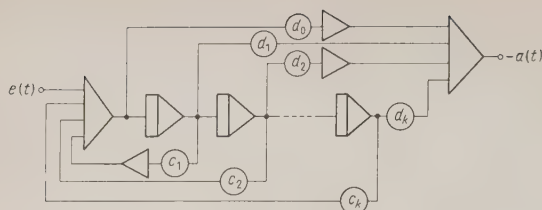


Bild 1. Rechenschaltung für die Differentialgleichung (1) aufgebaut aus einer Kette von k Integratoren.

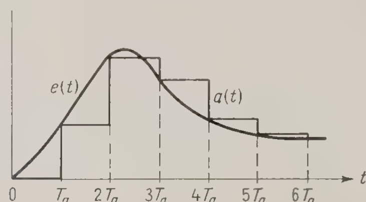


Bild 2. Zeitfunktionen am Eingang und Ausgang eines Abtasters.

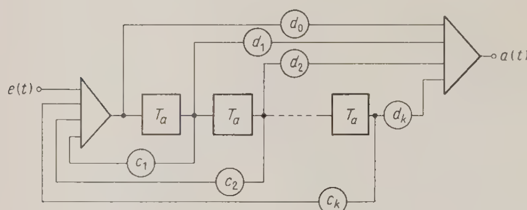


Bild 3. Rechenschaltung für die Differenzengleichung (4) aufgebaut aus einer Kette von k Abtastern.

Bei der Untersuchung von diskontinuierlich arbeitenden Systemen ist das Abtasten und Speichern die wichtigste Rechenoperation. Ihre Realisierung durch analoge Rechenelemente soll im folgenden Abschnitt besprochen werden.

2. Rechenelemente zum Abtasten und Speichern

Analoge Rechenelemente zum Abtasten und Speichern können mit Integratoren und zusätzlichen Relais aufgebaut werden [3]. Da die Integratoren ohnehin Relais zur Steuerung [5, 6], d. h. zur Eingabe der Anfangswerte und zum Start der Rechnung besitzen, liegt es nahe, direkt diese, jedem Integrator zugeordneten Relais zur Realisierung von Abtastern zu verwenden. Bild 4 zeigt eine allgemein gebräuchliche Schaltung eines Integrators mit den Relais R und H zur Steuerung der Rechenstellungen ,,Anfangswert'' und ,,Rechnen''. In der gezeichneten ,,Anfangswert''-Stellung der Kontakte r und h lädt sich der Integrationskondensator auf die Spannung e_0 auf, so daß $a(0) = -e_0$ wird. Bei Rechenbeginn ($t = 0$) öffnet der Kontakt r und der Kontakt h schließt, die Ausgangsspannung gehorcht Gl. (2). Wird zu irgendeinem Zeitpunkt t_0 der Kontakt h wieder geöffnet, so bleibt die Ausgangsspannung konstant auf dem zuletzt angenommenen Wert

$$a(t_0) = -\int_0^{t_0} e(t)\,\mathrm{d}t - e_0,$$

der Integrator wirkt als Speicher. Diese Speicherwirkung wird bei Abtastern benutzt.

Die Relais R und H werden im allgemeinen von einem zentralen Steuergerät des Analogrechners angesteuert. Bei den meisten modernen Präzisionsrechnern besteht jedoch auch die Möglichkeit, die Steuerrelais jedes einzelnen Integrators vom Steuergerät abzutrennen und vom Schaltfeld her zu erregen [6]. Durch periodische Erregung des Relais R oder H mit der Abtastperiode T_a erhält man dann die beiden Abtastschaltungen in Bild 5, die in ihrer Funktion identisch sind. Der dazu nötige Taktgenerator läßt sich ebenfalls mit Rechenelementen aufbauen [3].

Wird bei der Schaltung in Bild 5b zum Abtastzeitpunkt nT_a der Kontakt h während einer Tastzeit τ kurzzeitig geschlossen, so wirkt die Schaltung wie ein einfaches Verzögerungsglied mit der Zeitkonstanten RC, d. h. die Ausgangsspannung $a(t)$ nähert sich exponentiell der negativen Eingangsspannung $-e(t)$. Wird der Kontakt h wieder geöffnet, so speichert der Integrator den zuletzt angenommenen Wert $-e(nT_a + \tau)$, wenn $a(t)$ während der Tastzeit τ die Eingangsspannung mit genügender Genauigkeit erreichen konnte. Unter der Voraussetzung, daß sich $e(t)$ während der Tastzeit τ praktisch nicht ändert und daß $\tau \ll T_a$ ist, wird $e(nT_a + \tau) = e(nT_a)$. Die Ausgangsspannung $a(t)$ gehorcht dann abgesehen vom Vorzeichen Gl. (3) und stellt damit die abgetastete Eingangsfunktion dar (Bild 2).

Um bei der Berechnung von Abtastsystemen im Zeitmaßstab möglichst flexibel zu sein, sollte die Abtastperiode T_a in einem weiten Bereich frei wählbar sein. Sie ist jedoch zwei Einschränkungen unterworfen, die von der geforderten Abtastgenauigkeit, von den zur Verfügung stehenden Rechenkondensatoren und Widerständen, und von den Eigenschaften der Rechenverstärker abhängen. Durch die Bedingung $\tau \ll T_a$ ist die Abtastperiode nach unten begrenzt, da τ wegen der Zeitkonstanten RC einen bestimmten Wert nicht unterschreiten darf. Nimmt man an, daß sich $e(t)$ im Intervall $nT_a \leq t < (nT_a + \tau)$ nicht ändert, so muß für einen Abtastfehler von weniger als $1\,^0/_{00}$

$$\tau \geq 7\,RC \qquad (5)$$

sein. Nach oben ist die Abtastperiode durch den mit der Zeit anwachsenden Speicherfehler der Integratoren begrenzt, der durch die Verstärker-Nullpunktfehler und die Leckwiderstände der Integrationskondensatoren verursacht wird. Da die Abtastperiode im allgemeinen klein gegen die Zeitkonstanten des übrigen zu simulierenden Systems ist, ist es auch hier vorteilhaft, die Integrationskondensatoren jedes Integrators im Verhältnis eins zu zehn umschalten zu können [7]. Für den Abtaster verwendet man dann wegen Gl. (5) die kleinen Kondensatoren, für den übrigen Teil des Systems die großen. Die Abtastperiode kann dann zwischen etwa 1 s und 100 s gewählt werden.

Die für den Aufbau von Differenzengleichungsgliedern (Gl. (4)) benötigte Abtasterkette (Bild 3) erhält man durch Hintereinanderschalten mehrerer Abtaster (Bild 6). Da ein Abtaster nach Bild 5 nur einen Kondensator, also ein Speicherelement, besitzt, kann er nicht gleichzeitig seinen Ausgangswert an einen folgenden Abtaster abgeben und einen neuen Wert annehmen. Es muß daher eine Zwischenspeicherung der in Abtaster I gewonnenen Treppenfunktion in Abtaster II erfolgen, der mit einem um ηT_a ($\eta \approx 1/2$) phasenverschobenen Takt angesteuert wird [3]. Diese Notwendigkeit der Zwischenspeicherung ist auch von digitalen Schieberegistern her bekannt [8]. Zu einem Zeitpunkt

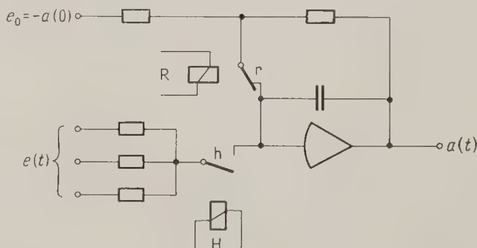


Bild 4. Relais-Steuerung eines Integrators für die Rechenstellungen ,,Anfangswert'', ,,Rechnen'' und ,,Halten''.

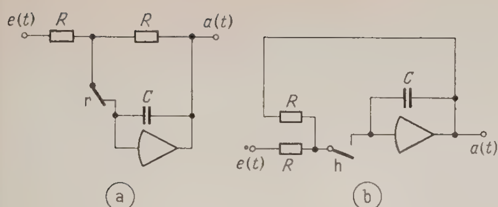


Bild 5. Schaltung zum Abtasten und Speichern a) durch Steuerung des R-Relais, b) durch Steuerung des H-Relais.

$(n - 1 + \eta)\, T_a$ schließt kurzzeitig der Kontakt r_2 des Zwischenspeichers, der damit an seinem Ausgang den von Abtaster I abgetasteten Wert $e([n-1]\, T_a)$ annimmt. Beim nächsten Abtastaugenblick $n\, T_a$ schließen die Kontakte r_1 der Abtaster I und III, an deren Ausgängen damit die abgetastete Eingangsfunktion $e(n\, T_a)$ bzw. der abgetastete Wert des Zwischenspeichers $e([n-1]\, T_a)$ erscheint. Es ist also

$$a(t) = e([n-1]\, T_a) \qquad \text{für } nT_a \leq t < (n+1)\, T_a.$$

Die beiden Abtaster II und III zusammen verschieben also die abgetastete Eingangsfunktion um eine Abtastperiode. Die Phasenverschiebung η der Abtastaugenblicke $(n + \eta)\, T_a$ für den Zwischenspeicher ist in weiten Grenzen unkritisch und unterliegt lediglich der Bedingung

$$\frac{\tau}{T_a} < \eta < 1 - \frac{\tau}{T_a}. \tag{6}$$

Für die Verschiebung einer Treppenfunktion um eine Abtastperiode sind nach Bild 6 zwei Integratoren, für eine k-gliedrige Kette $2k$ Integratoren erforderlich, wobei die Hälfte davon nur als Zwischenspeicher dient. Beim Aufbau von Differenzengleichungsgliedern höherer Ordnung sind damit sehr schnell die in einer Analogrechenanlage vorhandenen Integratoren besetzt. Wie man bei digitalen Schieberegistern im allgemeinen Kondensatoren als Zwischenspeicher verwendet, kann auch bei der analogen Abtasterkette die Zwischenspeicherung in einem Kondensator C_s erfolgen (Bild 7). Solange der Schalter s in der gezeichneten Stellung liegt, lädt sich der Kondensator C_s auf die halbe Summe $(a + e)/2$ der Aus- und Eingangsspannung auf. Zu den Zeiten $n\, T_a$ legt s kurzzeitig während einer Tastzeit τ um und C_s gibt die vorher gespeicherte Ladung $Q_s = C_s\, \{e(n\, T_a) + a([n-1]\, T_a)\}/2$ an den Integrationskondensator C ab, der vorher auf $a([n-1]\, T_a)$ aufgeladen war. Unter Berücksichtigung der Vorzeichenumkehr des Integrators nimmt damit die Ausgangsspannung den neuen Wert

$$a(t) = a([n-1]\, T_a) - \frac{C_s}{2C}\left\{e(nT_a) + a([n-1]\, T_a)\right\}$$
$$\text{für } nT_a \leq t < (n+1)\, T_a$$

an. Mit $C_s = 2C$ ist die Ausgangsspannung abgesehen vom Vorzeichen durch Gl. (3) gegeben.

Der Abtaster mit Zwischenspeicher (Bild 7) kann gleichzeitig einen neuen Wert im Kondensator C_s und einen vergangenen Wert im Kondensator C speichern, d. h., er kann gleichzeitig am Eingang einen neuen Wert aufnehmen und am Ausgang einen vergangenen Wert an einen folgenden Abtaster abgeben. Mit einer solchen Schaltung kann also eine Treppenfunktion am Eingang unmittelbar um eine Abtastperiode verzögert werden.

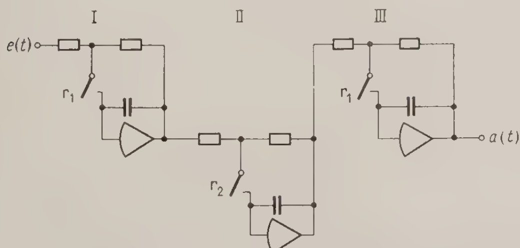


Bild 6. Abtasterkette als (hier einstufiges) analoges Schieberegister.

Die Realisierung eines Abtasters nach Bild 7 erfordert neben einem Integrator eine Zusatzschaltung bestehend aus einem Relais S, den drei Widerständen R und dem Zwischenspeicherkondensator C_s. Wenn auch diese Zusatzschaltung mit den im Analogrechner vorhandenen Elementen (Komparatoren, freie Widerstände und Kondensatoren) aufgebaut werden kann, ist es doch oft zweckmäßig, sich eine solche Schaltung speziell zu erstellen, bei der man dann auch die Widerstände R entsprechend klein wählen kann. Die erforderliche Tastzeit $\tau \geq 7\, RC_s$ ist hier durch die Zeitkonstante RC_s bestimmt. Der kleinste verwendbare Widerstand $R_{\min} = E/i_{\max}$ ist durch die Maschineneinheitsspannung E und die maximale Strombelastbarkeit $i_{\max}$ der Verstärker bestimmt. Die Zeitkonstante $R_{\min}\, C_s$ beträgt bei den meisten Analogrechenmaschinen etwa 2 ms, so daß die erforderliche Tastzeit etwa 14 ms betragen muß. Man kann dann die Abtastperiode zwischen etwa 0,1 s und 100 s wählen.

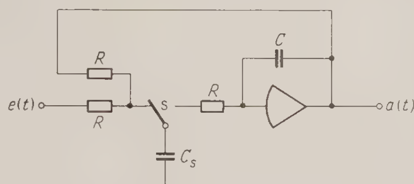


Bild 7. Schaltung zum Abtasten und Speichern mit Kondensator als Zwischenspeicher.

Durch Hintereinanderschalten von Abtastern nach Bild 7 erhält man eine Abtasterkette, wobei jetzt für eine k-gliedrige Kette nur k Integratoren benötigt werden. Der in jeder Abtasterstufe auftretende Vorzeichenwechsel ist gegenüber der Schaltung in Bild 6 kein Nachteil, da die Koeffizienten der Differenzengleichung (4) ohnehin verschiedene Vorzeichen haben können, und dann Umkehrverstärker erforderlich wären. An die Stelle der Bedingung (6) tritt hier die Forderung, daß keiner der Kontakte s in der Abtasterkette schon umgelegt hat, solange sich noch irgend ein anderer in der Ruhelage (in Bild 7 gezeichneten Lage) befindet. Diese Bedingung erfordert wegen der unvermeidlichen Schaltzeitstreuungen die Auswahl geeigneter Relais.

3. Einige spezielle Anwendungen von Abtastern

Eine häufig auftretende Aufgabe ist die Realisierung von Schaltungen, welche speziell der Differenzengleichung 1. Ordnung

$$a(nT_a) + c_1\, a([n-1]\, T_a) = d_0\, e(nT_a) \tag{7}$$

genügen. Diese Gleichung wird natürlich auch von der in Bild 3 gezeigten, allgemeinen Schaltung gelöst, jedoch lassen sich für bestimmte Koeffizienten c_1 und d_0 oft einfachere Schaltungen finden.

Für die Koeffizientenkombination $c_1 = -1$, $d_0 = 1$ erhält man die Funktion eines summierenden Abtasters [9], denn aus

$$a(nT_a) = a([n-1]\, T_a) + e(nT_a) \tag{8}$$

folgt durch rekursives Einsetzen der $a([n-1]\, T_a)$, $a([n-2]\, T_a)$ ...

$$n(nT_a) = \sum_{\nu=0}^{n} e(\nu T_a). \tag{9}$$

Die Ausgangsgröße $a(t)$ im Intervall $n\, T_a \leq t < (n+1)\, T_a$ wird also durch Aufsummieren aller vergangener Werte der

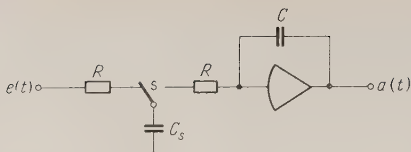


Bild 8. Schaltung zum summierenden Abtasten mit Kondensator als Zwischenspeicher.

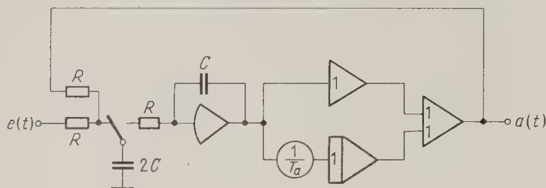


Bild 9. Schaltung zum teilweisen Abtasten.

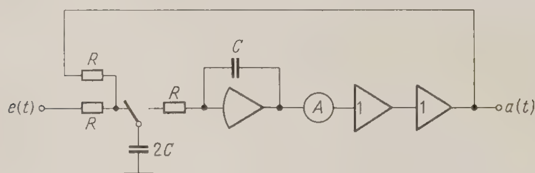


Bild 10. Schaltung für die lineare Extrapolation einer abgetasteten Eingangsfunktion.

abgetasteten Eingangsfunktion gewonnen. Die einfachste Schaltung eines summierenden Abtasters unterscheidet sich von gewöhnlichen Abtastern (Bild 7) durch die fehlende Rückführung (Bild 8). Zu den Schaltaugenblicken $n\,T_a$ wird die auf dem Zwischenspeicher C_s gespeicherte Ladung $Q_s = C_s \cdot e(n\,T_a)$ an den Integrationskondensator C abgegeben, der vorher auf $a([n-1]\,T_a)$ aufgeladen war. Die Ausgangsspannung gehorcht damit (mit $C_s = C$) abgesehen vom Vorzeichen Gl. (8) bzw. Gl. (9).

Bei der teilweisen Abtastung [9] wird zu den Schaltaugenblicken $n\,T_a$ ein Bruchteil A der Summe von Ein- und Ausgangsspannung vom früheren Ausgangswert $a([n-1]\,T_a)$ subtrahiert (Bild 9), d. h. es gilt die Differenzengleichung

$$a(nT_a) = a([n-1]\,T_a) - A\left\{e(nT_a) + a([n-1]\,T_a)\right\},$$

die wieder ein Spezialfall der Differenzengleichung 1. Ordnung (Gl. (7)) mit $c_1 = A - 1$; $d_0 = -A$ ist.

Bei einem Abtaster (Bild 5, Bild 7) wird die Eingangsgröße über eine Abtastperiode konstant gehalten und es entsteht eine Treppenfunktion. Solche aus Abtastern oder aus Differenzengleichungsgliedern stammende Treppenfunktionen sollen bei manchen Anwendungen geglättet werden. Dies läßt sich dadurch erreichen, daß der über eine Abtastperiode konstante Wert der Treppenfunktion durch eine kontinuierliche Zeitfunktion ersetzt wird. Diese kontinuierliche Zeitfunktion wird im Intervall $n\,T_a \leq t < (n+1)\,T_a$ durch ein Polynom k-ter Ordnung dargestellt, das in den k vorangegangenen Abtastzeiten nT_a, $(n-1)\,T_a \ldots (n-k)\,T_a$ mit der abgetasteten Eingangsfunktion übereinstimmt. Diese Aufgabe läßt sich mit nur einem Abtaster und einem kontinuierlich arbeitenden Polynomgenerator, der k Integratoren enthält, lösen [2]. Bei dem praktisch wichtigen Fall der linearen Extrapolation (Bild 10) wird die abgetastete Eingangsfunktion im Intervall $nT_a \leq t < (n+1)\,T_a$ durch eine Gerade ersetzt, die durch den gerade abgetasteten Wert $e(n\,T_a)$ und den früheren Wert $e([n-1]\,T_a)$ bestimmt ist, so daß

$$a(t) = e(nT_a) + \left\{e(nT_a) - e([n-1]\,T_a)\right\} \cdot \frac{t - nT_a}{T_a} \quad \text{für } nT_a \leq t < (n+1)\,T_a$$

ist.

4. Schlußbemerkung

Alle in diesem Aufsatz angeführten Schaltungen können mit den üblicherweise vorhandenen Elementen eines modernen Analogrechners realisiert werden. Es ist jedoch oft zweckmäßig — besonders wenn man häufig Abtastsysteme zu untersuchen hat — sich speziell eine Anzahl von einfachen Schaltungen, bestehend aus einem Relais S, drei Widerständen R und einem Zwischenspeicherkondensator C_s (Bild 7), zu erstellen. In Verbindung mit Integratoren erhält man dann die in Bild 7 gezeigten Abtaster, die zu Abtasterketten zusammengeschaltet werden können. Darüber hinaus lassen sich damit spezielle Differenzengleichungsglieder (Bild 8, Bild 9) und Polynomextrapolatoren (Bild 10) in einfacher Weise aufbauen. In Verbindung mit einem speziellen Taktgeber, der Taktzeiten zwischen etwa 0,1 s bis 10 s einzustellen gestattet, kann dadurch die Untersuchung von Abtastsystemen wesentlich erleichtert und eine erhebliche Einsparung an Rechenelementen erzielt werden.

Literatur

[1] *J. S. Zypkin*, Differenzengleichungen der Impuls- und Regeltechnik. VEB-Verlag Technik, Berlin 1956.

[2] *J. R. Ragazzini, G. F. Franklin*, Sampled data control systems. McGraw Hill, New York 1958.

[3] *G. Schneider*, Über die Nachbildung und Untersuchung von Abtastsystemen auf einem elektrischen Analogrechner. Elektron. Rechenanl. 2 (1960), S. 31—37.

[4] *H. Chesnut, A. Dabul, D. Leiby*, Analog computer study of sampled data systems. Transact. AIEE, Pt. 2, Jan. 1959, S. 634—640.

[5] *G. Korn* u. *Th. Korn*, Electronic Analog Computers. McGraw Hill, New York 1956.

[6] *A. Kley*, Steuerung, Anwahl und Prüfung beim Präzisionsanalogrechner RA 800. Telefunken-Zeitung 33 (1960), H. 129, S. 204—209.

[7] *G. Meyer-Brötz*, RA 800 — Ein transistorisierter Präzisions-Analogrechner. Telefunken-Zeitung 33 (1960), H. 129, S. 171 bis 182.

[8] *R. K. Richards*, Arithmetic Operations in Digital Computers. D. van Nostrand, New York 1955.

[9] *P. K. Giloth*, A Simulator for Analysis of Sampled Data Control Systems. Nat. Simulation Conf. Proc., Januar 1956, S. S. 21.1—21.8.

Hilfsmittel zur Vereinfachung von Schaltfunktionen

Methods for the simplification of truth functions

von J. WEINMILLER
Telefunken GmbH, Konstanz

Elektron. Rechenanl. 3 (1961), H. 3, S. 123—129
Manuskripteingang: 24. 4. 1961

Zur Synthese von logischen Schaltkreisen in programmgesteuerten digitalen Rechenmaschinen sucht man die nach den Regeln der Schaltalgebra dargestellte Schaltfunktion so zu vereinfachen, daß ihre Realisierung einen möglichst geringen Aufwand (z. B. an Dioden) beansprucht. Es werden einige wichtige Verfahren zur Vereinfachung geschildert und eine besonders günstige Modifikation solcher Verfahren angegeben (der Quadratgraph), durch die Funktionen mit bis zu 12 Variablen behandelt werden können. Besonderer Wert wurde den jedes Verfahren belegenden Beispielen beigemessen.

An effort is made in the synthesis of logic circuits of digital computers to simplify the corresponding truth function in such a way that its verification requires the least possible expenditure (e. g. diodes). Some important methods are described and an especially useful variation of these methods is given permitting the treatment of functions with up to 12 variables. Special emphasis was placed on the examples accompanying each method.

1. Aufwandsminimum

In der digitalen Rechentechnik werden logische Schaltfunktionen mit Hilfe der Schaltungsalgebra dargestellt und durch Relais, Dioden, Widerstände, Verstärkerelemente oder Magnetkerne praktisch realisiert.

In erster Näherung entspricht der Aufwand zur praktischen Realisierung der Länge der Funktion, d. h. der Anzahl der Eingangsvariablen und deren Verknüpfungen.

Andererseits läßt sich eine gegebene Beziehung zwischen Eingangsgrößen und einer Ausgangsgröße durch mehrere verschiedene Schaltfunktionen ausdrücken, von denen manche mehr, andere weniger Aufwand zur Realisierung beanspruchen. Es sind deshalb in den letzten Jahren eine Reihe von Regeln und Methoden entstanden, um für eine gegebene Beziehung die Schaltfunktion mit der einfachsten Realisierung herauszufinden.

Seit kurzem werden sogar elektronische digitale Rechenmaschinen zur Vereinfachung von Schaltfunktionen, also zur Minimisierung von Schaltkreisen herangezogen [4].

Entsprechend der Vielfalt verschiedener verwendeter Schaltkreissysteme, läßt sich jedoch nicht eine eindeutige Schaltfunktion angeben, die in allen Schaltkreissystemen den geringsten Aufwand verursacht. Beispielsweise ist häufig die Ordnungszahl der Funktion, d. h., die Anzahl der hintereinandergeschalteten Und- bzw. Oder-Schaltungen beschränkt durch die Verzerrung des Signals. Vielfach sind nur Funktionen 2. Ordnung, also eine Und- und eine Oderschaltung in Serie zugelassen, die man disjunktive Normalform (Oder-Verbindung mehrerer Und-Schaltungen) und konjunktive Normalform (Und-Verbindung mehrerer Oder-Schaltungen) nennt. Andere Zusatzbedingungen wie die Beschränkung auf 2 Eingänge (bei Röhren) führen zu noch anderen Minimalfunktionen. Selbst wenn man diese technischen Beschränkungen außer acht lassen kann, bringt eine Funktion höherer Ordnung mit noch kleinerem Aufwand als die minimisierte Funktion 2. Ordnung eine im Verhältnis zur Mühe des Suchens geringe Ersparnis, so daß alle Verfahren zur Vereinfachung die kürzeste Funktion 2. Ordnung anstreben.

Diese Funktion bildet dann die Grundlage, von der aus unter Einführung der für ein vorliegendes System gültigen Zusatzbedingungen die wirkliche Minimalfunktion gesucht werden kann.

Im folgenden werden deshalb einige Verfahren zur Vereinfachung von logischen Funktionen geschildert und miteinander verglichen, wobei als Ziel der Vereinfachung die disjunktive Normalform der Beziehung gilt, die bei Realisierung mit Diodennetzwerken die geringste Anzahl von Dioden beansprucht.

2. Minimalfunktion in disjunktiver Normalform

2.1 *Anwendung der Regeln der Schaltalgebra*

Den ältesten Weg bildet die sinnvolle Anwendung der Regeln der Schaltalgebra, wobei sich leider keine Systematik angeben läßt, die eindeutig zu der bzw. den Minimalfunktionen führt; deshalb findet man auf diese Weise nur bei Funktionen mit bis zu 4 Variablen mit einiger Wahrscheinlichkeit die Minimalfunktion. Zwei Beispiele sollen dies verdeutlichen:

$a, b, c \ldots$ seien die binären Eingangsvariablen und $\bar{a}, \bar{b}, \bar{c} \ldots$ ihre Inversionen; y sei die binäre Ausgangsgröße, $\bar{y}$ ihre Inversion. „0" und „1" seien die beiden binären Zustände. Mit „+" wird die disjunktive (oder-) Verknüpfung und mit „·" die konjunktive (und-) Verknüpfung bezeichnet. Der Konjunktionspunkt wird in unzweideutigen Fällen weggelassen.

Beispiel 1: $y = a\bar{b} + c + \bar{a}\bar{c}d + b\bar{c}d$; (12 Dioden, 4 Widerstände) (Bild 1a)

$y = a\bar{b} + c + \bar{c}(\bar{a}d + bd)$

$y = a\bar{b} + c + \bar{a}d + bd$

$y = a\bar{b} + c + d(\bar{a} + b)$

$y = a\bar{b} + c + d\overline{a\bar{b}}$

$y = a\bar{b} + c + d$

(5 Dioden, 2 Widerstände) (Bild 1b)

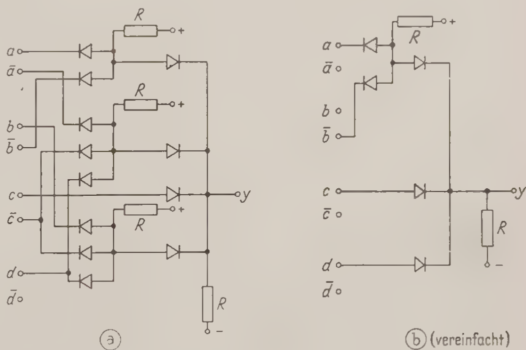


Bild 1. Diodennetzwerk für $y = a\bar{b} + c + acd + b\bar{c}d$.

Beispiel 2: $y = ab + \bar{b}\bar{c} + bc + \bar{a}\bar{b}$ (12 Dioden, 5 Widerstände)

$$y = ab + \bar{b}\bar{c} + abc + \bar{a}bc + \bar{a}\bar{b}c + \bar{a}\bar{b}\bar{c}$$

$$y = ab(1+c) + \bar{b}\bar{c}(1+\bar{a}) + \bar{a}c(1+\bar{b})$$

$$y = ab + \bar{b}\bar{c} + \bar{a}c \text{ (9 Dioden, 4 Widerstände)}$$

Man sieht zwar, daß sich die Anzahl der Dioden vermindern läßt, man erhält jedoch keine Auskunft, ob es noch andere gleich einfache Funktionen gibt. Wenn man in Beispiel 2 an Stelle der beiden letzten die beiden ersten Ausdrücke erweitert hätte, dann hätte man eine äquivalente Lösungsfunktion $y = \bar{a}\bar{b} + bc + a\bar{c}$ gefunden, die ebenso viele Dioden benötigt.

2.2 *Tabellenmethode (nach Quine)*

Wesentlich systematischer ist das Verfahren von *W. V. Quine* [2], [3], mit dem alle Minimalfunktionen gefunden werden. Das Verfahren bezieht sich nur auf die disjunktive Normalform.

Man kann eine Schaltfunktion, die in der disjunktiven Normalform steht, als ein Polynom auffassen, das aus Konjunktionen in disjunktiver Verbindung besteht. Die einzelnen Konjunktionen nennt man Monome, wobei ein Monom auch weniger Eingangsvariable enthalten kann, als im ganzen vorhanden sind. Besitzt ein Monom Bedingungen für alle Eingangsvariablen, dann nennt man es ein vollständiges Monom.

Quine bildet zuerst durch Erweiterung vollständige Monome und vergleicht dann alle Monome paarweise miteinander, ob sich nach der Regel ($ab + a\bar{b} = a$) eine Eingangsvariable entbehren läßt. Dann vergleicht er diese neu entstandenen Monome nach derselben Regel so lange, bis nur noch Monome übrig sind, die sich durch mehr als eine Inversion voneinander unterscheiden (Schritt 1). Diese kürzesten Monome nennt man die Primimplikanten des Polynoms. Die disjunktive Aneinanderreihung der Primimplikanten würde zwar die gewünschte Funktion erfüllen, doch stellt sie noch nicht das Minimalpolynom dar. Es ist vielmehr nun eine Kombination von Primimplikanten zu suchen, die alle vollständigen Monome, von denen in Schritt 1 ausgegangen wurde, unter Verwendung möglichst weniger Primimplikanten umfaßt, wobei noch den Primimplikanten mit der geringeren Anzahl von Variablen der Vorzug gebührt.

Zu diesem Zweck erstellt man eine Tabelle (Schritt 2), in der für jeden Primimplikanten eine Zeile und für jedes der vollständigen Monome aus Schritt 1 eine Spalte vorgesehen ist. Darauf hake man sich alle Kreuzungspunkte der Tabelle an, an denen der Primimplikant in dem vollständigen Monom enthalten ist.

In Schritt 3 ist die Tabelle zu vereinfachen. Alle Spalten, die nur einen Haken besitzen, werden ausgestrichen, da die zugehörigen Primimplikanten sog. wesentliche Monome sind, die in jedem Fall im Minimalpolynom erscheinen müssen. Ebenso streiche man die Zeilen dieser wesentlichen Monome und alle Spalten, die in den gestrichenen Zeilen einen Haken besitzen. In der verbliebenen Resttabelle befinden sich nun pro Spalte mindestens 2 Haken.

In Schritt 4 wählt man eine möglichst kleine Anzahl von Zeilen aus, die im ganzen in jeder Spalte durch mindestens einen Haken vertreten sind. Die disjunktive Verknüpfung der zu diesen Zeilen gehörenden Primimplikanten mit den in Schritt 2 ermittelten wesentlichen Monomen ergibt das Minimalpolynom.

Ein besonderer Vorteil des Quine-Verfahrens ist die Aufeinanderfolge vieler, relativ einfacher Schritte, so daß erste Versuche zur automatischen Vereinfachung mit Hilfe von elektronischen Rechenmaschinen ein solches Verfahren benutzten [4].

In der Literatur [5] wird neben diesem noch ein ähnliches Verfahren der Harvard Comp. Group beschrieben, das jedoch hier übergangen wird, da es im wesentlichen denselben Aufwand verlangt und dieselben Vor- und Nachteile besitzt.

Beispiel 3: Das Polynom aus Beispiel 2 ($y = ab + \bar{b}\bar{c} + bc + \bar{a}\bar{b}$) soll nun nach dem Quine-Verfahren vereinfacht werden.

Schritt 1: (Erweitern zu vollständigen Monomen und Primimplikantensuche): $y = abc + ab\bar{c} + a\bar{b}\bar{c} + \bar{a}\bar{b}\bar{c} + \bar{a}bc + \bar{a}\bar{b}c$

$$abc + ab\bar{c} = ab$$
$$abc + \bar{a}bc = bc$$
$$ab\bar{c} + a\bar{b}\bar{c} = a\bar{c}$$
$$a\bar{b}\bar{c} + \bar{a}\bar{b}\bar{c} = \bar{b}\bar{c}$$
$$\bar{a}\bar{b}\bar{c} + \bar{a}\bar{b}c = \bar{a}\bar{b}$$
$$\bar{a}bc + \bar{a}\bar{b}c = \bar{a}c$$

Weitere Vereinfachung ist nicht möglich.

Schritt 2: Die Tabelle (Bild 2a) wird erstellt.

Schritt 3 entfällt, da keine Spalte mit nur einem Haken (wesentlich Monome) und da keine Spalten mit gleicher Hakenbesetzung vorhanden sind.

Schritt 4: Kombination der Primimplikanten (Bild 2b): Wie bereits bei der Behandlung dieses Beispiels unter Verwendung der Schaltalgebra erwähnt wurde, gibt es zwei Minimalpolynome, die einander äquivalent sind. Sie sind in Bild 2b durch □ bzw. ○ gekennzeichnet.

$y_1 = ab + \bar{b}\bar{c} + \bar{a}c$; □

$y_2 = a\bar{c} + bc + \bar{a}\bar{b}$; ○

Redundante Monome

Die bisher betrachteten Beispiele waren durch eine genau definierte Schaltfunktion gekennzeichnet, was bedeutet, daß bei einem Teil der möglichen Eingangskombinationen (also bei den zur Funktion gehörenden Monomen) am Ausgang eine Eins erscheinen muß, während bei allen übrigen eine Null am Ausgang liegt. Häufig gibt es jedoch noch eine dritte Gruppe von Monomen, die als Eingangskombinationen nicht auftreten, für die also falls erwünscht die Eins oder die Null oder beide als Ausgangsgröße gesetzt werden können. Beispielsweise sind immer 6 von den 16 Möglichkeiten einer Tetrade aus vier Binärzeichen in einer Dezimalmaschine verboten. Man nennt diese dritte Gruppe die redundanten Monome. In der Tabellenmethode nach Quine lassen sich redundante Monome dadurch berücksichtigen, daß man in Schritt 1 die Primimplikanten nicht aus der Schaltfunktion allein, sondern aus der Funktion bildet, die die Schaltfunktion und die redundanten Monome umfaßt. Der weitere Fortgang bleibt ungeändert. Die Tabelle enthält dann so viele Zeilen wie Primimplikanten und so viele Spalten wie zu der bloßen Schaltfunktion gehörende Monome.

Das folgende Beispiel soll dies veranschaulichen:

Beispiel 4: y sei durch eine Funktionstabelle gegeben.

a	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
b	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
c	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1
d	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1
y	1	X	X	1	0	0	0	X	0	0	1	1	1	0	0	X

(a)

	abc	$ab\bar{c}$	$a\bar{b}\bar{c}$	$\bar{a}\bar{b}\bar{c}$	$\bar{a}bc$	$\bar{a}\bar{b}c$
ab	✓	✓				
bc	✓				✓	
$a\bar{c}$		✓	✓			
$\bar{b}\bar{c}$			✓	✓		
$\bar{a}\bar{b}$				✓		✓
$\bar{a}c$					✓	✓

(b)

	abc	$ab\bar{c}$	$a\bar{b}\bar{c}$	$\bar{a}\bar{b}\bar{c}$	$\bar{a}bc$	$\bar{a}\bar{b}c$
ab	☑	☑				
bc	○✓				○✓	
$a\bar{c}$		○✓	○✓			
$\bar{b}\bar{c}$			☑	☑		
$\bar{a}\bar{b}$				○✓		○✓
$\bar{a}c$					☑	☑

Bild 2. Tabelle nach Quine für die Funktion in Beispiel 3.

	$\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}$	$\bar{a}\bar{b}cd$	$a\bar{b}cd$	$a\bar{b}c\bar{d}$	$ab\bar{c}\bar{d}$
$\bar{a}\bar{b}$	✓	✓			
cd		✓	✓		
$\bar{b}c$		✓	✓	✓	
$ab\bar{c}\bar{d}$					✓

Bild 3. Tabelle zu Beispiel 4.

In der Zeile y sind mit 1 die zur Funktion gehörenden, mit 0 die nicht dazugehörenden und mit X die redundanten Monome bezeichnet. Das entsprechende Polynom ($y=\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}+\bar{a}\bar{b}cd+a\bar{b}c\bar{d}+a\bar{b}cd+ab\bar{c}\bar{d}$) besteht bereits ebenso wie die Redundanzen aus vollständigen Monomen. Es kann also sofort die Primimplikantensuche beginnen, wobei zwei zu einem kürzeren Monom führende Monome in der folgenden Aufstellung lediglich abgehakt werden. Führt ein Monom zu mehreren kürzeren, so wird es auch nur einmal abgehakt.

$\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}$✓ $\bar{a}\bar{b}cd$✓ $a\bar{b}cd$✓ $a\bar{b}c\bar{d}$✓ $ab\bar{c}\bar{d}$ $\bar{a}\bar{b}\bar{c}d$✓ $\bar{a}\bar{b}c\bar{d}$✓ $\bar{a}bcd$✓ $abcd$

$\bar{a}\bar{b}\bar{c}$✓ $\bar{a}\bar{b}\bar{d}$✓ $\bar{a}\bar{b}d$✓ $\bar{a}b\bar{c}$✓ $\bar{a}cd$✓ $\bar{b}cd$✓ $a\bar{b}c$✓ acd✓ $\bar{b}cd$

$\bar{a}\bar{b}$ cd $\bar{b}c$

Primimplikanten sind also: $ab\bar{c}\bar{d}$, $\bar{a}\bar{b}$ cd $\bar{b}c$.

Schritt 2: Die Tabelle wird aufgestellt (Bild 3) und daraufhin in Schritt 3 analysiert. Die Spalten $\bar{a}\bar{b}\bar{c}\bar{d}$, $a\bar{b}c\bar{d}$ und $ab\bar{c}\bar{d}$ zeigen nur einen Haken, so daß die Primimplikanten ab, $\bar{b}c$ und $ab\bar{c}\bar{d}$ bereits Teil der Funktion sind. Streicht man nun die Spalte $\bar{a}\bar{b}cd$ (auf Grund des wesentlichen Monoms $\bar{a}\bar{b}$) und die Spalte $a\bar{b}cd$ (wegen $\bar{b}c$), so bleibt keine Spalte mehr übrig, so daß die ermittelten wesentlichen Monome bereits die Minimalfunktion darstellen ($y=\bar{a}\bar{b}+\bar{b}c+ab\bar{c}\bar{d}$). Schritt 4 ist damit überflüssig.

2.3 Kreisgraphen (nach W. Händler) [6]

Nimmt man im n-dimensionalen Raum n Koordinatenachsen an, auf denen n unabhängige Variable aufgetragen sind, dann ergeben sich alle Kombinationen der Variablen an den 2^n Ecken eines n-dimensionalen Einheitswürfels. Diese Darstellung ist abgesehen von der Beschränkung der Anschaulichkeit für $n > 3$ gut geeignet zur Vereinfachung von Schaltkreispolynomen. Zuerst merke man die zu dem Polynom gehörenden Eckpunkte an und suche nun nach Kanten oder noch besser nach Seitenflächen, die von angemerkten Monomen umschlossen sind. Man erkennt, daß die Eckpunkte den vollständigen Monomen zugeordnet sind, während eine Kante, die von zwei zum Polynom gehörenden Monomen begrenzt wird, ein vereinfachtes Monom nach der Regel $abc+ab\bar{c}=ab$ darstellt (Bild 4a). Eine von 4 Monomen umgrenzte Fläche stellt eine Vereinfachung zweiten Grades dar und ergibt ein um 2 Variable verringertes Monom. Es handelt sich dabei um die vollständige Permutation einer Variablen (Kante), zweier Variablen (Fläche) usw., so daß also solche Kanten, Flächen, Würfel zu suchen sind. Aus der Schwierigkeit bei der Darstellung von Würfeln höherer Dimension heraus entstanden die Kreisgraphen. Die Eckpunkte des n-dimensionalen Würfels sind daher auf den Umfang eines Kreises projeziert, die Kanten werden zu Verbindungslinien zwischen je 2 sich nur in einer Variablen unterscheidenden Monomen (Bild 4b). Die Vereinfachungen höheren Grades sind geschlossene Linienzüge. Vorteilhaft ordnet man die Monome auf dem Kreisumfang so an, daß der Kreis selbst zwischen zwei Monomen eine Verbindungslinie bildet, daß also zwei nebeneinanderliegende Monome sich nur in einer Variablen unterscheiden (Gray-Code [6]).

Die Anweisung zum Gebrauch des Kreisgraphen ist einfach, wenn man sich einmal für 4, 5, 6 usw. Variable einen Graphen erstellt hat. (Einen um eine Variable größeren Graphen erhält man, wenn man sich den Kreis zwischen 000··· und 100··· aufgeschnitten denkt und die Monome in gleicher Reihenfolge unter Vorsetzung einer 0 als neuer Variablen auf den halben Umfang zusammendrängt, während man die andere Hälfte im entgegengesetzten Drehsinn mit derselben Reihenfolge der bisherigen Monome unter Vorsetzen einer 1 füllt, so daß z. B. bei 4 Variablen neben 0000 dann 1000, 1001 usw. steht.) Zuerst erweitert man das Polynom, so daß nur noch vollständige Monome vorkommen. Diese Monome kennzeichnet man auf dem Graphen und sucht Verbindungen („Kanten") zwischen ihnen herzustellen.

Wenn man alle möglichen Verbindungen (z. B. farbig) eingezeichnet hat, dann sucht man aus diesen einen geschlossenen Linienzug zu erstellen, der Vereinfachungen höheren Grades bringt. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß nicht jeder geschlossene Linienzug zu einer Vereinfachung führt, da auch andere Linienzüge als solche möglich sind, die vollständige Permutationen darstellen. Die Linienzüge müssen 2, 4, 8 usw. Verbindungslinien enthalten, sie müssen in sich mindestens eine Symmetrieachse besitzen und sie müssen (besonders bei Linienzügen mit 8 und mehr Kanten) in zwei einfachere Linienzüge entlang der Symmetrieachse zerlegt werden können, wobei jedes vollständige Monom der beiden Linienzüge eine Verbindungslinie zu einem Monom des jeweils anderen Linienzuges besitzen muß. Unter Beachtung dieser Einschränkung sucht man möglichst lange Linienzüge zu erstellen und wählt eine Kombination dieser Linienzüge aus, die alle Monome des zu vereinfachenden Polynoms berührt, wobei ein Monom zu beliebig vielen Linienzügen gehören kann. Da man fortwährend Überblick über das ganze System besitzt, ist die günstigste oder sind die günstigsten Lösungen meist schnell zu finden. Abschließend sind dann nur noch die ausgewählten Linienzüge bezüglich ihrer kennzeichnenden Variablen zu analysieren, was die wesentlichen, kürzesten Monome ergibt.

Das Verfahren eignet sich gut für Polynome mit bis zu sechs Variablen. Darüberhinaus beschränkt die zunehmende Dichte von Verbindungslinien entlang dem Umfang des Kreises das Verfahren. Innerhalb dieser Grenzen lassen sich jedoch auch redundante Monome gut berücksichtigen, wie aus dem folgenden Beispiel ersichtlich werden soll.

Beispiel 5: Eine binär verschlüsselte Dezimalziffer soll auf Teilbarkeit durch 3 geprüft werden, d. h. $y=1$, wenn 0011 (3), 0110 (6) oder 1001 (9); in allen übrigen Fällen soll $y=0$ gesetzt werden. Die Kombinationen 1010, 1011, 1100, 1101, 1110, 1111 (10—15) kommen nicht vor (redundant). Zuerst erstellt man den Kreisgraphen mit 4 Variablen, den Bild 5a zeigt, und kennzeichnet die zum Polynom gehörenden und die redundanten Monome. Dann sucht man von jedem der unterstrichenen Monome zuerst Verbindungen zu anderen zum Polynom gehörenden Monomen (hier nicht möglich), darauf Verbindungen zu redundanten Monomen. Bei 0011 und 0110 findet sich nur je eine Verbindung, so daß hier die wesentlichen Primimplikanten

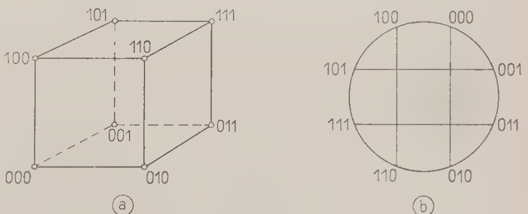


Bild 4a) Würfel für 3 Variable, b) Kreisgraph für 3 Variable.

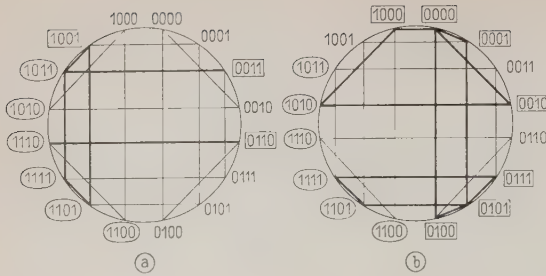


Bild 5a. Kreisgraph für 4 Variable (zu Beispiel 5 und 6). $y = ad + \bar b\bar c d + bc\bar d$;

Bild 5b. $\bar y = \bar b\bar d + \bar a\bar c + bd$.

sofort ablesbar sind ($\bar bcd$, $bc\bar d$). Bei 1001, wo zwei Verbindungen möglich sind, sucht man weiter, ob sich diese Verbindungen nicht zu einem geschlossenen Linienzug ergänzen lassen, der eine Vereinfachung höheren Grades bedeutet. Der so erzielte Linienzug aus 4 Eckpunkten ergibt den dritten Primimplikanten (ad). Man beachte, daß eine Einbeziehung von 1010 und 1110 in diesen Linienzug nicht weiterführt, da die Anzahl der Kanten dann 6 und nicht 4 oder 8 beträgt. Weiter erkennt man, daß ohne Einbeziehung redundanter Monome das Polynom $y = \bar abcd + \bar abc\bar d + a\bar b\bar cd$ nicht mehr einfacher darzustellen wäre (15 Dioden, 4 Widerstände gegenüber 11 Dioden, 4 Widerständen bei Beachtung der redundanten Monome).

In Bild 5b ist die Inversion $\bar y$ von y als weiteres Beispiel 6 dargestellt. (In manchen Schaltkreissystemen bedeutet die Abwesenheit einer „1" noch nicht eine Umstellung eines Schalters in den „Null"-Zustand, vielmehr muß ein spezieller Löscheingang des Schalters mit der einer „Eins" entsprechenden Spannung beaufschlagt werden!) Man könnte

$$\bar y = \overline{ad + \bar bcd + bc\bar d}$$

durch eine Inversion von y erzielen, doch bedeutet dies eine Abweichung von der disjunktiven Normalform. Ein neuer Versuch mit dem Kreisgraphen (Bild 5b) führt zu einer noch einfacheren disjunktiven Normalform

$$\bar y = \bar b\bar d + \bar a\bar c + bd,$$

die gegenüber der Form mit vollständigen Monomen (35 Dioden, 8 Widerstände) eine wesentliche Ersparnis bringt. Man beachte, daß manche redundanten Monome sowohl für y als auch für $\bar y$ herangezogen wurden, was jedoch nicht zu Zweideutigkeiten führt, da diese Monome nach Vereinbarung nicht auftreten können. Bei diesem Beispiel mit seiner Vielzahl von Möglichkeiten der Kanten-Kombination ergeben sich bereits Schwierigkeiten beim Finden der Normalfunktion. Doch durch Aufschreiben mehrerer Polynome erkennt man bald, daß das angegebene wirklich das kürzeste Polynom ist.

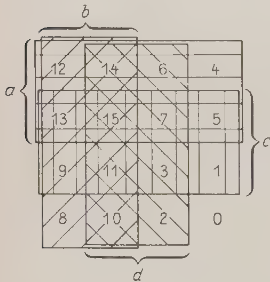


Bild 6. Karnaugh-Tafel für 4 Variable.

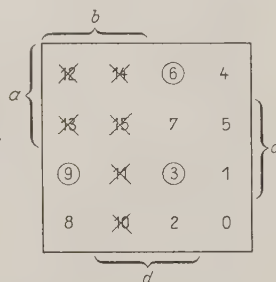


Bild 7. Karnaugh-Tafel zu Beispiel 7.

2.4 Karnaugh-Veitch-Tafeln [7]

Während die Kreisgraphen auf den n-dimensionalen Würfel zurückgehen (Bild 4), beruht das folgende Verfahren, das von *Karnaugh* [8] und mit geringen Modifikationen von *Veitch* [7] angegeben wurde, auf einem sog. Venndiagramm. Betrachtet man zwei sich schneidende Kreise (A, B) in einer Ebene, so gibt es ein Gebiet außerhalb beider Kreise $(\bar a\bar b)$, je ein Gebiet, das nur von einem Kreis umschlossen ist ($a\bar b$ und $\bar ab$) und ein in beiden Kreisen liegendes Gebiet (ab). Nimmt man statt der Kreise 4 Rechtecke a, b, c, d und legt sie so übereinander, daß 16 Felder mit jeweils verschiedener Gebietsbeschreibung entstehen, so ist dies eine Karnaugh-Tafel für 4 Variable. Bild 6 zeigt diese Tafel, wobei die 4 Rechtecke (versch. schraffiert) den 4 Variablen zugeordnet und in die 16 Felder die Zahlen 0—15 eingetragen sind, deren binäre Darstellung das Feld beschreibt (z. B. liegt das Feld 6 = 0110 außerhalb a und d, aber innerhalb b und c). Da jedes Feld einem vollständigen Monom entspricht, kann jedes Polynom mit 4 Variablen eingetragen werden (etwa durch Einkreisen der entsprechenden Felder). Aus dem Muster, das die eingekreisten Felder bilden, kann man nach einiger Übung auf die Vereinfachungen schließen. Vereinfachungen ersten Grades ergeben sich bei 4 Variablen, wenn zwei aneinandergrenzende Felder angekreuzt sind oder zwei Eckfelder derselben Zeile (Spalte). Liegen 4 Felder in derselben Zeile (Spalte) neben- bzw. untereinander oder bilden sie ein Quadrat, dann bedeutet das eine Vereinfachung zweiten Grades. Vereinfachungen höheren Grades sind gekennzeichnet durch Kombination von Vereinfachungen des nächst-niedrigen Grades derart, daß jedes Feld der beiden zu kombinierenden Vereinfachungen mit einem Feld der jeweils anderen Vereinfachung eine Vereinfachung ersten Grades bilden muß.

Dieses Verfahren ist zwar bei wachsender Zahl von Variablen nicht wie die Kreisgraphen begrenzt durch Verringerung des Linienabstandes, sondern durch die Schwierigkeit, mit einem Blick alle Kombinationsmöglichkeiten zu erkennen. Doch die Tatsache, daß hier die Information gleichmäßig über die ganze Fläche verteilt ist (im Gegensatz zum Kreisgraphen, der nur am Umfang Informationen trägt), bringt größere Übersicht und damit schnellere Lösung.

Beispiel 7: Es soll das gleiche Problem gelöst werden wie in Beispiel 5 und Beispiel 6, um die Mühe vergleichen zu können, durch die man mit den Kreisgraphen und mit den Karnaugh-Tafeln zum Ziel kommt (Bild 7; die redundanten Monome sind durch Kreuze gekennzeichnet).

Wesentliche Primimplikanten für y sind

ad (9 kombiniert mit 11,13,15)

$\bar bcd$ (3 mit 11)

$bc\bar d$ (6 mit 14). Die Minimalfunktion lautet also:

$y = ad + \bar bcd + bc\bar d$

Aus derselben Tafel lassen sich auch die Primimplikanten bzw. das kürzeste Polynom für $\bar y$ ablesen:

Kombination von 0,1,5,4 ergibt $\bar a\bar c$

2,8 mit 0,10 ergibt $\bar b\bar d$

7 mit 5,13,15 ergibt bd;

$\bar y = \bar a\bar c + \bar b\bar d + bd.$

Man übersieht bei 4 Variablen wie hier mit einem Blick alle Möglichkeiten der Kombination und erkennt schnell, daß z. B. die Kombination von 8 mit 0,4 und 12 nicht zum kürzesten Polynom führt, da dann für das Feld 2 ein weiteres Monom zu erstellen wäre.

Dieses Verfahren eignet sich aus den erwähnten Gründen für etwa 2 Variable mehr als die Kreisgraphen, doch bei 8 Variablen bereitet es schon ziemliche Schwierigkeiten. Diesen zu begegnen wird zum Abschluß ein Verfahren

beschrieben, das von Kreisgraphen und Karnaugh-Tafeln zugleich hergeleitet ist und einen Anwendungsbereich bis 10 oder 12 Variable umfaßt.

2.5 Quadratgraphen

Die Karnaugh-Tafeln verzichten durch ihre Tabellenform weitgehend auf die Darstellung der Kombinationsmöglichkeiten (Kanten), während in den Kreisgraphen zwar alle möglichen Kanten eingetragen sind, doch die Verteilung der Monome (auf dem Kreisumfang) ungünstig ist. Demgegenüber zeichnet sich der quadratische Graph dadurch aus, daß sowohl alle Kombinationsmöglichkeiten übersehbar sind (alle Kanten sind eingezeichnet) als auch alle Monome gleichmäßig über die Zeichenfläche verteilt sind.

Folgende Vorschriften gelten für die Vereinfachung eines Polynoms mit n Variablen mit Hilfe des Quadratgraphen. Schritt 1: Man erstelle sich einen Graphen, indem man zuerst am Rand eines Zeichenblatts den Gray-Code für $n/2$ Variable untereinanderschreibt. Nun schreibe man denselben Code am oberen Blattrand von rechts nach links, so daß $2^{n/2}$ Zeilen und Spalten entstehen (Bild 8) und jeder Kreuzungspunkt einer Zeile und einer Spalte einem vollständigen Monom zugeordnet ist.

Als nächstes folgt die Eintragung der Verbindungslinien. Am rechten und unteren Rand des durch Zeilen und Spalten aufgespannten Quadrats zieht man eine Gerade, die an der ersten und letzten Zeile (Spalte) in Pfeilspitzen ausläuft. Weitere dazu parallele Geraden erstrecken sich von der zweiten zur vorletzten Zeile (Spalte), von der 3. zur drittletzten usw. Weitere Geraden verbinden die äußersten Zeilen (Spalten) mit weiter innen liegenden, wenn $n > 4$ ist. Alle diese Geraden bilden die Kanten eines $(n/2)$-dimensionalen Würfels, so daß jede Gerade zwei solche Zeilen (Spalten) verbindet, deren zugeordnete Monome sich entsprechend dem Gray-Code in nur einer Variablen unterscheiden. Hat man alle diese Verbindungen gezogen (mit Ausnahme der Verbindungen zur jeweils nächstfolgenden Zeile bzw. Spalte, die überflüssig sind, da nach Definition des Gray-Code pro Schritt nur eine Variable geändert wird), dann ist der Quadratgraph für n Variable erstellt und — vervielfältigt oder als durchscheinende Unterlage — für alle späteren Fälle brauchbar. Für ungeradzahliges n greift man zweckmäßigerweise auf einen nächstgrößeren Graphen zurück und benützt nur die obere oder die untere Hälfte des Quadrats.

Schritt 2: Als nächstes wird das Polynom, das vereinfacht werden soll, in das Quadrat eingeschrieben. Jedes vollständige Monom erscheint dabei als eine „1" im Kreuzungspunkt der Zeile, die der ersten Hälfte des Monoms entspricht, und der Spalte, die der zweiten Hälfte des Monoms entspricht. Ein auf a Variable verkürztes Monom wird durch 2^{n-a} solcher „1"-Zeichen dargestellt.

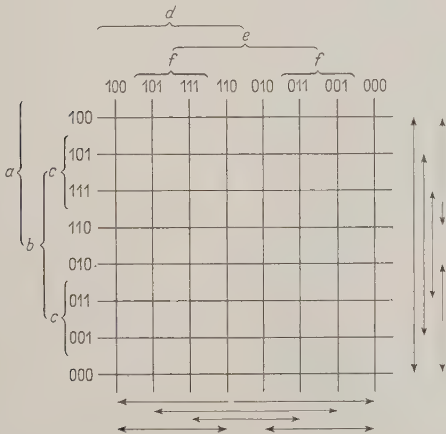


Bild 8. Quadratgraph für 6 Variable.

Die Kreuzungspunkte des Quadratgraphen können ähnlich wie die Felder der Karnaugh-Tafel durch eine Gebietsbeschreibung festgelegt werden. Dazu eignet sich der Gray-Code besonders gut. In Bild 8 sind die Buchstaben a, b, c, d, e, f für die sechs Variablen eingeführt, wobei der Buchstabe a das Gebiet der ersten 4 Zeilen, der Buchstabe b die 3. bis 6. Zeile und der Buchstabe c die 2., 3., 6. und 7. Zeile umfaßt; dasselbe gilt für die Spalten und die Buchstaben d, e und f. Will man also z. B. das Monom $a\bar{b}c\bar{d}\bar{e}f$ in den Quadratgraphen eintragen, dann sucht man die Zeile, die innerhalb a und c sowie außerhalb b liegt (2. Zeile), und die Spalte, die innerhalb f, dagegen außerhalb d und e liegt (7. Spalte). Ein verkürztes Monom $\bar{b}cd\bar{e}f$ wird ebenso eingetragen. Hier ergeben sich jedoch wegen der nicht vorhandenen Bedingung a zwei Zeilen (2. und 7.), also auch zwei Kreuzungspunkte, die gekennzeichnet werden müssen.

Schritt 3: Redundante Monome werden durch Kreuze eingetragen.

Schritt 4: Man verbindet die 1-Zeichen, wenn nötig über x-Zeichen, entlang gemeinsamer „Kanten" (die durch die Pfeile am rechten und am unteren Rand dargestellt sind) zu möglichst großen Vereinfachungen. Diese entsprechen den Linienzügen in den Kreisgraphen und sind ähnlichen Bedingungen unterworfen:

1. Zwei Punkte sind nur kombinierbar, wenn sie derselben Zeile oder Spalte angehören und entweder nebeneinander oder parallel zu den Enden eines gemeinsamen Pfeils liegen.
2. Vier Punkte sind kombinierbar, wenn ihr Muster im Graph zwei Symmetrieachsen besitzt und die beiden Punkte auf einer Seite jeder Symmetrieachse die erste Bedingung erfüllen.
3. 8, 16, 32 usw. Punkte sind kombinierbar, wenn ihr Muster zwei Symmetrieachsen besitzt, wobei jeweils das Muster auf einer Seite jeder Symmetrieachse die Bedingungen 1—3 erfüllen muß.

Es sind wieder wie beim Kreisgraphen möglichst wenige möglichst große Vereinfachungen erstrebt, die man zweckmäßigerweise durch farbige Striche einträgt, die die betreffenden Punkte berühren. Sollen zwei Vereinfachungen kombiniert werden, dann kennzeichnet man diese und verbindet sie durch nur einen Strich. Kann man größere Blöcke wie z. B. ein Quadrat oder Rechteck aus 16, 32 . . . Punkten kombinieren, so erübrigt sich die Eintragung in den Graph. Man kann sie wie aus einer Karnaugh-Tafel direkt ablesen.

Das abschließende Beispiel soll ein Polynom mit 8 Variablen behandeln, wobei dem Leser überlassen bleibt, eines der anderen Verfahren darauf anzuwenden, um die Vorteile des Quadratgraphen zu erkennen.

Beispiel 8: Es soll ein dezimaler Halbaddierer entworfen werden, in dem jeweils eine Dezimalziffer x_1 des ersten Summanden und eine Dezimalziffer x_2 des zweiten Summanden addiert werden. Das Teilproblem des Übertrags wird in diesem Beispiel untersucht, d. h., y soll dann „1" sein, wenn $x_1 + x_2 > 9$ ist. Die Dezimalziffern sind rein binär verschlüsselt, also durch je 4 Binärziffern $abcd$ bzw. $a'b'c'd'$ dargestellt. Die Dezimalziffern 10—15 treten nicht auf (Redundanzen).

Schritt 1: Der Quadratgraph wird für 8 Variable erstellt (Bild 9).

Schritt 2, Schritt 3: Die zum Polynom gehörenden Monome werden durch das Zeichen „1" an den entsprechenden Kreuzungspunkten eingetragen, ebenso die redundanten Monome durch das Zeichen „x". Da das Problem die Kombination zweier Dezimalzahlen betrifft, schreibt man zweckmäßigerweise anstatt der 4stelligen Binärzahlen die äquivalenten Dezimalzahlen an den Rand. Dann setzt man eine „1" an jeden Kreuzungspunkt, bei dem die Summe der Spalten- und der Zeilenzahl größer als 9 ist. Entsprechend kreuzt man alle Zeilen und Spalten an, die eine Zahl >9 am Rande zeigen (Redundanz).

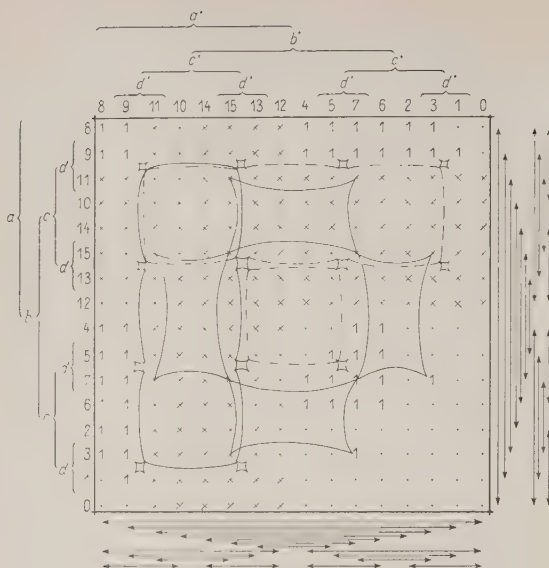


Bild 9. Quadratgraph für 8 Variable (zu Beispiel 8).

Schritt 4: Da im vorliegenden Problem sehr viele Linienzüge möglich sind, muß man etwas systematisch vorgehen, indem man erst für solche „1"-Zeichen Linienzüge erstellt, die nur wenige Möglichkeiten der Vereinfachung erkennen lassen. Das sind meist einzeln liegende „1"-Zeichen, wie hier $x_1=7/x_2=3$ sowie $x_1=3/x_2=7$. Jeder dieser Punkte ist nur mit weiteren 7 Punkten zu einer Vereinfachung 3. Grades kombinierbar, womit bereits die ersten wesentlichen Primimplikanten gefunden sind (*bcdc'd'* und *cdb'c'd'*). Als nächstes sucht man einzeln liegende Punkte, die nicht völlig von „1"- und „X"-Zeichen umgeben sind, z. B. $x_1=1/x_2=9$; $x_1=9/x_2=1$; $x_1=5/x_2=5$ und bestimmt die größten Vereinfachungen (nach der Pfeilvorschrift am rechten und unteren Rand). Beispielsweise kann der Punkt 1/9 mit den benachbart liegenden Redundanzen 1/11, 3/9 und 3/11 zu einem Quadrat kombiniert werden, das wiederum mit den Redundanzen 1/15, 1/13, 3/15 und 3/13 vereinigt werden kann. Die so ermittelte Figur erfüllt die Kombinationsbedingungen zu den Punkten 7/9, 7/13, 5/9, 5/13, 7/11, 7/15, 5/11, 5/15. Da weiterhin eine zu dieser neuen Figur symmetrische auf der oberen Graphenhälfte möglich ist, ergibt sich als größte Vereinfachung der Primimplikant *da'd'* für 32 Punkte. Auf ähnliche Weise gewinnt man den Primimplikant für die Punkte 9/1 (*add'*) und 5/5 (*bdb'd'*).

Ebenso verfährt man daraufhin mit einzeln liegenden Gruppen von „1"-Zeichen (Zeile 6 und 7 sowie Spalte 6 und 7) und erhält *bcb' und bb'c'*.

Die noch übriggebliebenen „1"-Zeichen sind jeweils mit einem Block zu vereinfachen, der ein Viertel der Graphenfläche umfaßt und deshalb durch zwei Binärzeichen darstellbar ist. Da diese Vereinfachungen direkt ablesbar sind, erscheinen sie im Quadratgraph nicht als Linienzüge.

ac' (für die „1"-Zeichen in den Zeilen 9 und 8 sowie in den Spalten 3, 2, 6 und 7)

ab' (für die „1"-Zeichen in den Zeilen 9 und 8 sowie in den Spalten 6, 7, 5 und 4)

aa' (für die „1"-Zeichen in den Zeilen 9 und 8 sowie in den Spalten 9 und 8)

ba' (für die „1"-Zeichen in den Zeilen 6, 7, 5 und 4 sowie in den Spalten 9 und 8)

ca' (für die „1"-Zeichen in den Zeilen 3, 2, 6 und 7 sowie in den Spalten 9 und 8)

Das Minimalpolynom in der disjunktiven Normalform lautet also: $y=bcdc'd'+cdb'c'd'+bdb'd'+add'+da'd'+bcb'+bb'c'+ac'+ab'+aa'+ba'+ca'$;

Verglichen mit einem Polynom aus vollständigen Monomen (46 Widerstände, 405 Dioden) lassen sich 33 Widerstände und 357 Dioden einsparen!

Zusammenfassend sei gesagt, daß die graphischen Methoden durch ihre Übersichtlichkeit gegenüber der Tabellenmethode die Primimplikantensuche erleichtern, daß sie jedoch nicht eindeutig zur Minimalfunktion führen müssen. Solange eine gewisse Übersicht vorhanden ist, kann zwar die Minimalfunktion kaum verfehlt werden, doch empfiehlt es sich, bei großer Variablenzahl und völlig unregelmäßig verteilten Monomen mit den graphisch ermittelten Primimplikanten zur Kontrolle eine Quine-Tabelle zu erstellen. Solche Fälle bilden jedoch auch bereits die Grenze für die Anwendung handelsüblicher digitaler Rechenmaschinen zur Minimisierung, und zwar sowohl hinsichtlich der Speicherkapazität als auch der Rechenzeit.

3. Abweichungen von der disjunktiven Normalform

Alle bisher beschriebenen Verfahren zur Vereinfachung führten auf die einfachste Funktion in der disjunktiven Normalform. Neben dieser gibt es einerseits eine weitere Darstellung zweiter Ordnung, die konjunktive Normal, form, sowie andererseits die Funktionen höherer Ordnung- die keinem Formgesetz unterworfen sind. Die konjunktive Normalform — die konjunktive Verknüpfung verschiedener Disjunktionen — läßt sich mittels der Regeln ($\overline{ab}=\bar a+\bar b$) und ($\overline{a+b}=\bar a\bar b$) auf die disjunktive Normalform zurückführen, so daß sich spezielle Verfahren erübrigen. Soll eine Funktion $y=(a+b)(c+d)$ vereinfacht werden, dann wird ihre Inversion in eine disjunktive Form $\bar y=\bar a\bar b+\bar c\bar d$ verwandelt und nach einem der beschriebenen Verfahren vereinfacht, wobei nicht die Werte für $y=1$ als zum Polynom gehörend zu betrachten sind, sondern die Werte für $\bar y=1$, also $y=0$. Abschließend wird das kürzeste Polynom für $\bar y$ in eine Funktion für y in konjunktiver Normalform rückverwandelt, die ebenfalls die kürzestmögliche Funktion ihrer Art darstellt.

Beispiel 9: $y=(a+\bar b+c)\ (a+b+c)\ (a+\bar b+\bar c)\ (\bar a+b+c)$;

$$\bar y=\overline{a+\bar b+c}+\overline{a+b+c}+\overline{a+\bar b+\bar c}+\overline{\bar a+b+c};$$

$$\bar y=\bar a b\bar c+\bar a\bar b\bar c+\bar a bc+a\bar b\bar c;$$

Das kürzeste Polynom $\bar y=\bar a b+\bar b\bar c$ ergibt

$$y=\bar a b+\bar b\bar c \quad \text{sowie}$$

$$y=(a+\bar b)\ (b+c)$$

Mehr Bedeutung für die Vereinfachung als dieser formalen Umrechnung der beiden Formen 2. Ordnung kommt den Funktionen höherer Ordnung zu, die, falls sie nicht wegen der eingangs erwähnten Signalschwächung und der Signallaufzeit überhaupt verboten sind, noch eine Verringerung des Diodenaufwandes erwarten lassen (der Aufwand an Widerständen steigt dagegen meist!). Ein allgemeingültiges, in der Praxis brauchbares Verfahren läßt sich hierfür leider nicht mehr angeben, vielmehr ist man auf eine geschickte Anwendung der Schaltalgebra angewiesen. Eine besondere Art von Funktionen höherer Ordnung entsteht durch Kombination von einander ähnlichen Funktionen, die identische Teilfunktionen besitzen. Man bildet die gemeinsamen Teilfunktionen, vereinfacht diese zur kürzesten disjunktiven Normalform und hängt die weiteren Verknüpfungen daran (wieder in disjunktiver Normalform; der Ausgang der gemeinsamen Teilfunktion erscheint als neuer Eingang). Durch diese Kombination zweier Funktionen kann der Aufwand für eine solche Teilfunktion gespart werden, wodurch jedoch im ganzen gesehen Funktionen höherer Ordnung entstehen. Gemeinsame Teilfunktionen, erkennt man, wenn man die beiden zu kombinierenden Funktionen in je einen Quadratgraph

einträgt. Befinden sich in gleichen Feldern beider Graphen „1"-Zeichen oder „x"-Zeichen, dann ist aus diesen gemeinsamen Monomen erst eine Teilfunktion zu erstellen, zu vereinfachen und dann jeweils mit den restlichen Monomen zu kombinieren [2].

Literatur

[1] *Reichenback, H.*, Elements of Symbolic Logic. The Macmillan Company NY 1947.

[2] *Phister, jr., M.*, Locigal design of digital computers. John Wiley & Sons NY 1958.

[3] *Quine, W. V.*, The Problem of Simplifying Truth-Functions. American Math. Monthly No. 59, p. 521—531 (1952 and No. 62, p. 627—631 (1955).

[4] *Hotz, G.*, Zur Reduktion von Schaltkreispolynomen im Hinblick auf eine Verwendung von Rechenautomaten. El. Datenverarbeitung 5/1960 S. 21—27.

[5] Staff of Harvard Computation Laboratory, Synthesis of Electronic Computing and Control Circuits. Harvard Univ. Press, Cambridge 1951.

[6] *Händler, W.*, Ein Minimisierungsverfahren zur Synthese von Schaltkreisen. Dissertationsschrift an der TH Darmstadt 1958.

[7] *Veitch, E. W.*, A Chart Method for Simplifying Truth-Functions. Proc. Association for Computing machinery Pittburgh Pa. May 1952.

[8] *Karnaugh, M.*, The map method for Synthesis of Combinational Logic Circuits. Communication Electronics 9 p. 593—599, 1953.

Apparate und Anlagen

IBM 1418 Klarschriftleser

Der mit Festkörper-Schaltelementen ausgerüstete IBM-1418-Klarschriftleser (Bild 1) liest Schreibmaschinenschrift oder Druckschrift von Papier- oder Kartenbelegen verschiedener Größe und Stärke zur direkten Eingabe in ein IBM-1401-Datenverarbeitungssystem. Er kann auch zum Lesen von Markierungen ausgerüstet werden. Dabei stellen vertikale Bleistift- oder Tintenmarkierungen bestimmte Daten dar, je nach Anordnung des Belegformulars.

Der IBM-1418-Klarschriftleser setzt die gedruckten oder mit gewöhnlicher Tinte geschriebenen, numerischen Daten automatisch in die Maschinensprache um und gibt sie dann direkt in den Magnetkernspeicher der IBM 1401 ein. Hier werden die Daten bearbeitet, und die Ergebnisse werden durch die IBM 1401 über Lochkarten, Magnetband oder den Drucker ausgegeben.

Während die IBM 1418 Daten in den Kernspeicher der IBM 1401 eingibt, kann der Rechner verschiedenartige Operationen gleichzeitig ausführen, beispielsweise Schnellübertragung vom Band auf den Drucker. Die mit der IBM 1418 ausgerüstete IBM 1401 kann auch zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit größerer IBM-Datenverarbeitungsanlagen verwendet werden, da die auf der IBM 1401 erstellten Magnetbänder in die Großrechenanlagen eingegeben werden können. Die IBM 1418 liest mit Geschwindigkeiten bis zu 480 Zeichen pro Sekunde und verarbeitet dabei bis zu 400 Belege in der Minute. Ihr Arbeitstempo hängt von der Belegbreite, dem Anfall der von jedem Formular zu lesenden Zeichen und dem Ausmaß der Bearbeitung ab, die bei den einzelnen Dokumenten erforderlich ist. Es ist der erste Klarschriftleser, der eine direkte Eingabe von einem in üblicher Weise bedruckten Papierbeleg in einen elektronischen Rechner ermöglicht.

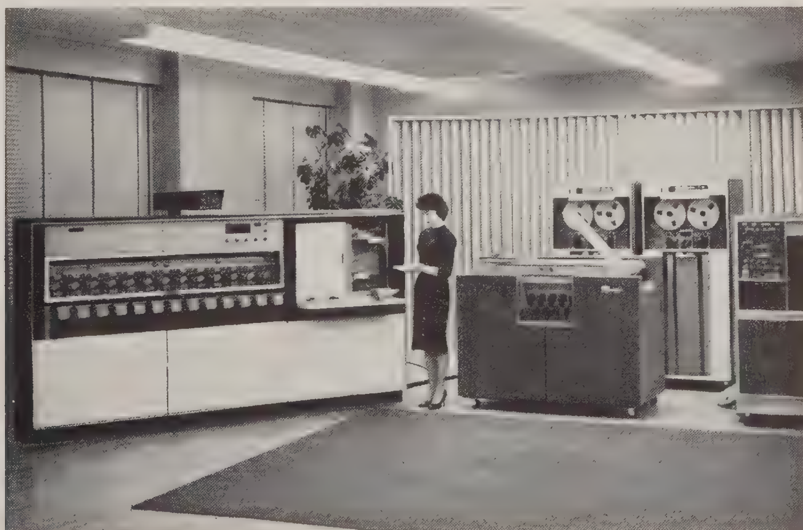


Bild 1.

Typen- und Belegvorschriften

Der IBM-1418-Klarschriftleser kann numerische Information und drei Sonderzeichen von Belegen ablesen, deren Schrifttypen der standardmäßigen Type des Schreibwerkes der IBM 407 (Höhe 0,093 Zoll, 10 Zeichen pro Zoll) entsprechen. Diese Typenart kann auf den IBM-Tabelliermaschinen 407, 408 und 409, dem IBM-1403-Drucker oder mit elektrischen Schreibmaschinen gedruckt werden. Die IBM 1418 liest ferner die vergrößerte Schrift der IBM 407 (Höhe 0,130 Zoll, 7 Zeichen pro Zoll). Die durch die Maschine zu lesenden Markierungen können mit gewöhnlichem Bleistift oder mit dunkler Tinte ausgeführt sein.

Die von der IBM 1418 zu lesenden Eingabedokumente können verschiedene Länge, Breite und Stärke haben. Die Maschine verarbeitet alle Belege mit einer Breite von $5^7/_8$ Zoll bis $8^3/_4$ Zoll Breite, einer Formularhöhe von $2^3/_4$ Zoll bis $3^2/_3$ Zoll und einer Papierstärke von 0,0035 Zoll bis 0,007 Zoll, womit auch die regulären IBM-Lochkarten erfaßt sind. Innerhalb dieses Bereiches erlaubter Abmessungen für Eingabebelege kann die IBM 1418 gedruckte Daten sowohl von Lochkarten und Endlosformularen als auch von den meisten Prämienrechnungen, bedruckten Kostenzetteln, Coupons und von anderen Belegen ablesen.

Die Direktverarbeitung von Papier- und Kartenformularen durch das mit der IBM 1418 ausgerüstete Datenverarbeitungssystem kann eine ganz erhebliche Zeit- und Kostenersparnis bedeuten. Sie ermöglicht den Fortfall der Informationsumsetzung von Ursprungsbelegungen in Karten oder Band vor der Eingabe der Daten in einen elektronischen Rechner zu ihrer weiteren Verarbeitung.

Fluß der Belege durch die IBM 1418

Die von der IBM 1418 zu lesenden Belege werden in ein kontinuierlich arbeitendes Magazin eingelegt, aus dem die Maschine ständig gespeist wird. Je nach der Dicke der einzelnen Blätter können 800 bis 1500 Belege zugleich in das Magazin gebracht werden, wobei der Papierstapel bis zu 15 Zoll hoch sein darf. Mit Hilfe von zwei Zuführungsarmen kann das Magazin mit Belegen nachgefüllt werden, ohne daß die Maschine zum Stillstand gebracht werden oder das Lesen unterbrochen werden muß.

Die Eingabe der Dokumente in den Klarschriftleser erfolgt mit automatischer Steuerung durch das in der IBM 1401 gespeicherte Programm. Bei der Eingabe in die IBM 1418 durchlaufen die Belege zunächst einen Separator, der verhindert, daß zwei oder mehr Formulare zugleich eingegeben werden. Jedes Formular wird einzeln ausgerichtet und auf eine umlaufende Trommel gebracht, gegen die der Beleg durch ein Vakuum fest angepreßt wird. Während die Trommel umläuft, gleitet das Formular an der Optik einer optischen Lesestation vorbei, wobei die gesamte Oberfläche für diesen optischen Lesevorgang exponiert ist. Mit Hilfe eines Einstellhebels kann die Bedienungsperson die Optik so ausrichten, daß Daten von einer beliebig gewählten Zeile auf der Belegfläche abgelesen werden.

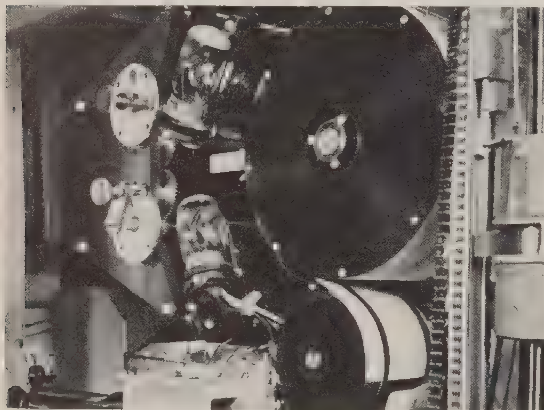


Bild 2.

Nach dieser Ablesung werden die Belege durch ein endloses Band von der Oberfläche der Trommel abgenommen. Sodann wird jeder Beleg in ein Ablagefach der IBM 1418 befördert.

Der Lesevorgang

Das Datenlesen von einem Ursprungsbeleg durch die IBM 1418 erfolgt ausschließlich durch ein optisches Abtastverfahren mit hohem Auflösungsvermögen, das auf Grund der gewählten Konstruktion optimale Zeichenidentifizierung mit hoher Genauigkeit und Betriebssicherheit verbürgt. Die Tatsache, daß für jedes abgetastete Zeichen erheblich mehr Information analysiert wird als dafür notwendig wäre, erklärt die Fähigkeit der IBM 1418, denjenigen für den praktischen Einsatz so wichtigen Bereich von Druckart und Druckgüte zu erfassen, der bei Schreibmaschinen und verschiedenen Druckeinrichtungen auftritt.

Während ein Beleg sich auf der umlaufenden Trommel an der optischen Lesestation vorbeibewegt (Bild 2), wird er stark belichtet. Das von dem Beleg reflektierte Licht wird nach Durchtritt durch die Optik auf eine rotierende Abtastscheibe geworfen, die eine Reihe von Spiralen enthält, deren jede aus einer Anzahl von winzigen quadratischen Öffnungen besteht. Durch diese Scheibe tritt das Licht nacheinander als eine Serie von Abbildern hindurch, die von jedem Segment des abgelesenen Zeichens herrühren.

Dieses reflektierte Lichtbild wird dann auf die Oberfläche eines Photovervielfachers geworfen, der daraus elektrische Impulse erzeugt. Von hier gelangen die Impulse zu einem Breitbandverstärker, der eine automatische Anpassung des Signals unter Berücksichtigung der Verschiedenheiten in der Anschlagstärke oder der Druckstärke sowie des Druckhintergrundes vornimmt, die bei der Abtastung angetroffen werden. Der Verstärker analysiert jede aufeinanderfolgende Gruppe von Zeichenabtastungen daraufhin, ob sie schwarz oder weiß waren, und liefert seine Ergebnisse an ein Verschieberegister (oder Gitter), wo ein Zeichenmuster entwickelt wird. Wenn ein solches Zeichenmuster durch das Gitter hindurchtritt, wird es so orientiert, daß es auf ein intern gespeichertes logisches Muster für ein bestimmtes Zeichen paßt. Tritt eine solche Entsprechung auf, wird das Zeichen erkannt und zum Kernspeicher der IBM 1401 zur weiteren Verarbeitung übertragen.

Einzelheiten zur Ausrüstung

Die Grundausrüstung des IBM-1418-Klarschriftlesers enthält eine optische Lesestation, die von einer beliebigen Belegzeile Daten abliest, die in einer einheitlichen Typenart gedruckt sind. Diese Grundausrüstung kann entweder durch eine zweite Lesestation oder eine Markierungs-Lesestation als Zusatzeinrichtung ergänzt werden. Mit zwei Lesestationen kann die IBM 1418 in einem Durchgang des Belegs durch die Maschine beliebige zwei Zeilen lesen. Die Typenart dieser beiden Zeilen kann dann entweder gleichartig oder verschieden sein. An Stelle der zweiten Lesestation kann eine Markierungslesestation eingebaut werden, um von einer zweiten Zeile Bleistift- oder Tintenmarkierungen zu lesen.

Die von einer IBM 1418 zu lesende Zeile bzw. die Zeilen können von der Bedienungsperson durch Hebel gewählt werden, welche die Optik in eine bestimmte Stellung bringen. Die Umschaltung von Zeile zu Zeile oder von Zeichenlesen auf Markierungslesen wird durch das in der IBM 1401 gespeicherte Programm vollständig gesteuert.

Der IBM-1418-Klarschriftleser kann in zwei Modellen geliefert werden (Bilder 3 und 4): Modell 1 mit drei und Modell 2 mit dreizehn Ablagefächern. Sobald das Modell 2 der

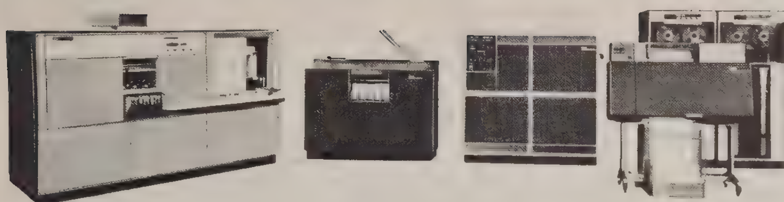


Bild 3. Modell 1 mit drei Ablagefächern.



Bild 4. Modell 2 mit dreizehn Ablagefächern.

IBM 1418 nicht als Eingabegerät für die IBM 1401 tätig ist, kann diese Maschine zum unabhängigen optischen Sortieren von bedruckten Formularen und Karten verwendet werden. Beide Modelle enthalten die gleiche Stromkreisanordnung zur Analyse und Identifizierung des abgetasteten Zeichens, ein Steuerpult und ein Zeichensichtgerät mit Kathodenstrahlröhre. Dieses oben auf der IBM 1418 angebrachte Zeichensichtgerät dient als Hilfsmittel zur Durchführung von Abtasteinstellungen und zur Überprüfung der logischen Schaltelemente der Anlage.

Modelle 1 und 2 der IBM 1418 können mit jeder Type C, D oder E des Magnetband-Datenverarbeitungssystems IBM 1401 verwendet werden.

Anwendungen

Das Anwendungsgebiet der optischen Lesemaschine IBM 1418 ist außergewöhnlich umfangreich. Sie ermöglicht die schnelle Direktverarbeitung bedruckter Ursprungs- und sekundärer Belege und kann erhebliche Einsparungen an Zeit und Kosten ermöglichen. Im folgenden werden einige Anwendungsgebiete aufgeführt, auf denen die IBM 1418 beschleunigte und verbilligte Arbeitsabwicklung bieten kann:

Luft-Transportwesen
Abrechnung der Passagiergebühren

Buch- und Plattenklubs
Rechnungserstellung und Debitorenbuchhaltung

Nachrichtenwesen
Zahlungsverbuchung
Ablesung der Gebührenzettel

Finanzwesen
Ratenabrechnung

Versicherung
Prämienzahlungen
Bezahlte Ansprüche

Spedition
Frachtabrechnung

Öffentliche Versorgungsdienste
Kundenbuchhaltung
Auswertung von Zählerablesungen

Verlagswesen
Erneuerung und Bezahlung von Subskriptionen

Eisenbahn
Kontrolle der Frachtrechnungen

Einzelhandel
Rechnungserstellung und Debitorenbuchhaltung

Staatliche und örtliche Behörden
Entschädigungszahlungen
Registrierungen und Lizenzen
Steuerabrechnung und Gebühren

Einheiten und Zusatzeinrichtungen
1418 Optische Lesemaschine
Type 1: 3 Ablagefächer
Type 2: 13 Ablagefächer

Zusätzliche Lesestation

Markierungs-Lesestation

Eingabe/Ausgabe-Steuerung
(für das Datenverarbeitungssystem 1401, Type C, D oder E)

Nur Transitron bietet schon heute

Ein weiterer bemerkenswerter Fortschritt . . .

DIFFUSIONS-MESA-TRANSISTOREN FÜR ALLE LEISTUNGEN:

. . . IN MODERNSTEN GEHÄUSEN, FÜR HOHE SPANNUNGEN UND HOHE GRENZFREQUENZEN, MIT GERINGEREM SÄTTIGUNGSWIDERSTAND UND GUTER LINEARITÄT DER STROMVERSTÄRKUNG

TRANSISTOREN FÜR KLEINE SIGNALE



Für Schaltkreise und Verstärker geringer Leistung. Der Transistor ersetzt die Typen 2N332 bis 2N338. Er hat eine höhere Grenzfrequenz, einen niedrigeren Sättigungswiderstand, kleinere Gehäuseabmessungen, ist für höhere Spannungen geeignet und ist zuverlässiger.

Verlangen Sie bitte die Druckschriften TE-1353T/-1, -2, -3.

TRANSISTOREN FÜR MITTLERE LEISTUNGEN



Sie ersetzen die Typen 2N339-2N343, haben verbesserte Hochfrequenzeigenschaften, zeigen eine gute Linearität der Stromverstärkung, einen niedrigen Sättigungswiderstand, hohe zulässige Betriebsspannung (bis zu 125 Volt) und grössere Verlustleistung.

Verlangen Sie bitte die Druckschriften TE-1355J-1 und TE-1355E-2

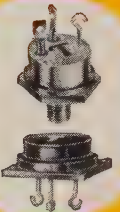
TRANSISTOREN FÜR ENDSTUFEN



Für Leistungsendstufen, Transistortreiberverstärker hoher Leistung und—Servoverstärker. Der Transistor ersetzt die Typen 2N1047—2N1050 und 2N1483—2N1486. Er hat einen niedrigeren Sättigungswiderstand, zeigt eine gute Linearität der Stromverstärkung und ist für Betriebsspannungen bis zu 120 Volt geeignet.

Verlangen Sie bitte die Druckschrift TE-1355S.

TRANSISTOREN FÜR HOHE LEISTUNGEN



Zur Anwendung in geregelten Netzgeräten und Spannungswandlern. Der Transistor ersetzt die Typen 2N1015, 2N1016, 2N1487 bis 2N1490, er zeigt einen niedrigeren Sättigungswiderstand (der typische Wert liegt bei 0,8 Ohm), eine höhere Grenzfrequenz und niedrigere Sperrströme.

Verlangen Sie bitte die Druckschrift TE-1355R.

Mit diesen neuen Transistoren bietet Transitron verbesserte Leistungen und hervorragende Eigenschaften in allen Strombereichen zwischen 100μA und 5 A. Jeder Transistor kann in einem grossen Arbeitsbereich betrieben werden. Das ermöglicht die Verwendung nur weniger Typen und vereinfacht damit die Herstellung von Geräten. Alle Typen zeigen die Stabilität und die Zuverlässigkeit der Silizium-Mesatransistoren und weisen hohe minimale Abschaltspannungen auf, die durch die Kenndaten garantiert werden.

die Lösung von morgen:

Die Grundlagenforschung — ein neuer Begriff der angewandten Technologie — sorgt dafür, dass Transitron nicht nur an führender Stelle steht sondern auch den ständig wachsenden Anforderungen der Industrie stets einen Schritt voraus ist. Die Grundlagenforschung hat einen konstanten Zufluss besserer und noch leistungsfähigerer Materialien zur Folge. Dies ermöglicht es wiederum dem Anwendungslaboratorium von Transitron in Europa Schaltungen zu entwerfen, die auf die speziellen Wünsche der Kunden zugeschnitten sind. Transitron bietet heute die grösste Typenauswahl an hochwertigen Silizium-Halbleitern und garantiert durch seinen Kundendienst, eine pünktliche und schnelle Lieferung in ganz Europa.

Alle bekannten Transistoren sind ab Lager lieferbar. Grosser Beliebtheit erfreuen sich für Industrie- und militärische Aufgaben u.a. folgende Transitron Silizium NPN-Transistoren:

TRANSISTOREN für KLEINE SIGNALE

2N332-6	150 mW
2N337 8	125 mW
2N1248	150 mW
2N1417	150 mW kommerz. Type
ST3030	Sondertyp f. elektr. Rechenmaschinen

TRANSISTOREN MITTLERER LEISTUNG

2N657	200 ma
2N696	f. hohe Frequenzen
2N1117	200 ma
ST4203/04	speziell f. kommerzielle u. industr. Zwecke
2N341	1 W
2N1206	1 W

TRANSISTOREN HOHER LEISTUNG

2N424	80 V
ST440/450	2 A
2N389	3 A
2N1208/09	5 A

sowie viele andere, auch militärisch zugelassene, Typen.

TRANSISTOREN • DIODEN • GLEICHRICHTER • GESTEUERTE • SCHALTER • REGELDIODEN • ZENER-DIODEN

Transitron electronic GmbH
münchen 5 corneliusstrasse 12
fernruf 22 72 74



Führend auf dem Halbleiter-Gebiet

Buchbesprechungen

S. Vajda, Einführung in die Linearplanung und die Theorie der Spiele. Verlag R. Oldenbourg, München. 70 Seiten, brosch. 12,— DM.

Wenn der Verlag Oldenbourg als ersten Band in der Reihe „Beihefte zur Zeitschrift Elektronische Rechenanlagen" dies Buch des bekannten englischen Autors herausbringt, so muß man diese Wahl als besonders glücklich ansehen, und zwar aus mehreren Gründen.

Die beiden Themen, die zwar sachlich völlig getrennt sind, aber mathematisch einen engen Zusammenhang haben, sind Teilgebiete der Operations-Forschung, deren Bedeutung u. a. in Wirtschaft und Industrie in steigendem Maße anerkannt wird. Dabei ist die Linearplanung in einigen Wirtschaftszweigen schon zu einem sehr wichtigen praktischen Hilfsmittel geworden. Mit der Spieltheorie steht es etwas anders. „Ihr Wert besteht", nach den Worten des Autors, „eher darin, daß sie zu einer abstrakt logischen Beurteilung von Lagen führt, in denen wir Entscheidungen zu treffen haben."

Der zweite Grund, aus dem man dies Büchlein so sehr begrüßen kann, liegt darin, daß es hier ein Autor, der sein Metier souverän beherrscht, verstanden hat, in bestechender Klarheit auf nur 58 Textseiten zwei schwierige Gebiete darzustellen, über die es schon eine größere Anzahl von Büchern und eine unübersehbare Anzahl von Zeitschriften-Publikationen gibt, die oft die wünschenswerte Strenge vermissen lassen, hauptsächlich aber den Leser eher abschrecken als ermuntern, sich mit diesen interessanten und wichtigen Gebieten zu befassen.

Die Übersetzung ist mustergültig. *H. Kaufmann*

John von Neumann, Die Rechenmaschine und das Gehirn. Verlag R. Oldenbourg, München 1960, 80 Seiten, 7,40 DM.

Das kleine Buch verdient es, gelesen zu werden, ist es doch durch Verfasser und Thema nicht nur eine äußerst interessante Erscheinung, sondern darüber hinaus nach Art seiner Entstehung, als unvollendetes und posthumes Werk, auch menschlich ergreifend.

Der Verfasser, glänzender Mathematiker und Pionier der Rechenmaschinenentwicklung nach dem Kriege, hat sich in den letzten Jahren bis zu seinem Tod (1957) immer wieder mit der Theorie der Automaten beschäftigt. Im Zusammenhang damit galt sein starkes persönliches Interesse den Bemühungen um das Verständnis der Arbeitsweise des menschlichen Nervensystems. Die vorliegende Niederschrift war als Vorlesung zu diesem Themenkreis gedacht, konnte jedoch nicht mehr vollendet werden. Der Druck der amerikanischen Originalausgabe erfolgte 1958. Obwohl

---

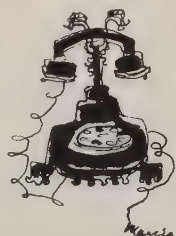
Über die mißbräuchliche Benutzung von Telephon und Lautsprecher

Solange die Welt besteht, ist sie voll Geschrei, aber mit großer Wahrscheinlichkeit darf gesagt werden, daß kein Säkulum so viele *letzte* Schreie produziert hat wie das unsere.

Das mag weniger am Wesen der Produktivität liegen (denn diese betätigt sich normalerweise in konzentrierter Stille) als in der Tatsache, daß das gegenwärtige Zeitalter vom Erfolg besessen ist — und zwar vom Erfolg in Permanenz —, selbwelcher sich nur mit Hilfe von Trommeln, Schreien und anderem Lärm erreichen läßt. Es ist daher nicht verwunderlich, daß man gewisse Neuerungen, deren Erzeugung eben jenes Dauererfolges wegen fortlaufend vonnöten ist, mit „dernier cri" bezeichnet, denn sie sind in der Tat nichts anderes als materialisiertes Geschrei. Das gilt für Patentbügeleisen wie für Düsenflugzeuge, für Lippenstifte wie für Büromöbel und reicht bis in so gefährliche Bezirke wie die Kriegskunst, wo die derzeit letzte Mode, nämlich das Aufpfropfen von atomaren Sprengköpfen auf harmlose Granaten, manches Kopfzerbrechen macht.

Wer, allen Erfahrungen zum Trotz, immer aufs neue Messen und Ausstellungen besucht, könnte ein Lied davon singen, aber das würde den allgemeinen Lärm nur verstärken. Schweigen wir also von all den hunderttausend Neuigkeiten, die letzthin feilgeboten wurden, übergehen wir sogar die Weltraumkapsel des Herrn Shephard, die die Pariser neulich bestaunen durften, und bleiben wir auf unserem Gebiet.

Nun sei Bosheit, wie üblich, ferne von uns, wenn wir auf dem so ernsthaften Gebiet der Datenverarbeitung von modischen Erscheinungen sprechen, aber dem Betrachter will es scheinen, als ob auch die hier Tätigen (außer den sattsam bekannten Magnettrommeln) neuerdings die Reklametrommeln rührten. Zum Beispiel hat man es augenblicklich mit der Langstrecken-Datenverarbeitung: Der Rechner mag in Wolkenkuckucksheim stehen oder unter dem grünen Tisch der zentralen Generaldirektion oder an ganz und gar abwegigen Orten, etwa in einem Rechenzentrum — von nun an spielt seine Aufstellung keine Rolle mehr, denn siehe, man kann ihn auch aus sicherer Entfernung mit Daten versorgen. Ein Paket von tausend Lochkarten etwa, das in Feldafing erzeugt wurde, aber in Köln verarbeitet werden soll (dergleichen soll wirklich vorkommen), wurde bisher entweder durch einen Kurier oder per Postpaket von da nach dort befördert, was unbequem, langatmig und völlig altmodisch ist. Hat man nämlich in Feldafing eine spezielle Abfühl-Sendestation und das passende Gegenstück in Köln, so kann man neuerdings den Informationsinhalt der tausend Karten in wenigen Minuten von Oberbayern an den Rhein transferieren, ohne die Karten selbst zu befördern.



Ähnliches gilt, so hört man, für die Schnellübertragung von Daten zwischen zwei Magnetbandspeichern, und wenn man die Sache richtig aufzieht, können also auch Rechenautomaten untereinander auf diese bequeme Weise Gespräche anknüpfen und Erfahrungen austauschen — vorausgesetzt, daß sie sich auf eine gemeinsame Sprache einigen. Kurz, es geht von nun an ohne den Rechner im

das Buch Fragment blieb, fesselt die Prägnanz der Darstellung. Das im gegebenen Zusammenhang interessierende Wissen um die Rechenmaschine und das menschliche Gehirn wird knapp und klar gegenübergestellt. Eine kurze Notiz über ,,die Sprache des Gehirns und die Sprache der Mathematik", mit der die Abhandlung endet, ist recht inhaltsschwer und weist auf die starke Verschiedenheit der beiden ,,Sprachen" hin. Der Verfasser erwartete von einem gründlichen Studium der Tatbestände möglicherweise eine Modifikation der bestehenden Ansichten über Logik und Mathematik.

Frau Klara von Neumann hat das Buch durch eine biographische Skizze bereichert.

Es verbleibt, dem Verlag für die deutsche Ausgabe und den Übersetzern für ihre sorgfältige Arbeit zu danken.

H. Donner

A. S. Jackson, Analog Computation. McGraw-Hill, New York — Toronto — London, 1960, 652 S., DM 61,70.

Da eine Analogrechenmaschine aus einer möglicherweise großen Zahl von Rechenelementen verschiedener mathematischer Struktur besteht, die in nahezu beliebiger Weise miteinander gekoppelt werden können, ist auch die Zahl der möglichen Rechenschaltungen außerordentlich groß. Entsprechend vielfältig sind auch die Probleme, die sich mit einem Analogrechner behandeln lassen. Es ist deshalb eines der Kriterien für die Güte eines Buches mit dem anspruchsvollen Titel ,,Analogrechnen" (das Original läßt sich schwer ebenso kurz und zugleich präzise übersetzen), wieviel von dieser Vielfalt geboten wird, zumal die Benutzer von Analogrechnern aus den verschiedenartigsten Wissenschaftszweigen kommen. Legt man diesen Maßstab an das vorliegende Buch, so kann man ihm die Note ,,sehr gut" nicht versagen (es umfaßt freilich auch 652 Seiten!). Man findet neben dem Standardinhalt (Grundlagen der Rechentechnik, Normierung, gewöhnliche lineare und nichtlineare Differentialgleichungen, Netzwerksynthese) auch die Behandlung von partiellen Differentialgleichungen, algebraischen Gleichungssystemen, Eigenwertproblemen und statistischen Problemen. Die Anwendungen umfassen die Regelungstechnik, Aeronautik, Physiologie, Operationsforschung und lineare Programmierung, Volkswirtschaft, Verkehrstechnik, Chemie und noch vieles andere. Auch die Randgebiete wie Analog-Digital-Umsetzer, Digital-Differential-Analyzer und hybride Systeme sind nicht vergessen. Es ist überflüssig zu erwähnen, daß das Buch eine Fülle von Schaltungskniffen enthält, die für die Praxis so wichtig sind, und daß selbstverständlich alle Raffinessen der Schaltungstechnik benutzt werden. Da zu der Fülle des Materials noch ein solider didaktischer Aufbau und eine elegante Darstellungsweise hinzukommt, bleibt eigentlich kein Wunsch mehr offen. *R. Herschel*

Hause, was sicher für manchen Fall von Nutzen ist und entsprechenden Widerhall finden würde, wenn — es nur schon so weit wäre!

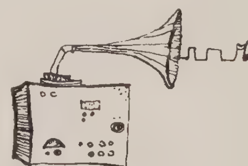
Daß dem nicht so ist, sei mit Trauer vermeldet. Zwar funktionieren die angepriesenen Sende- und Empfangsapparate ganz prächtig, aber sie tun das leider nur, wenn sie durch eine Leitung miteinander verbunden werden.

Nun gibt es zwar Leitungen genug im deutschen Vaterland, auch die gewünschten Telephonleitungen von 3 kHz Bandbreite, aber es gibt sie keineswegs für solche neuartigen Zwecke. Die Bundespost ist nämlich der Ansicht, daß Telephonkanäle zum Sprechen da sind, und betrachtet die Datenübertragung (weil sie digitalen Charakter hat) als eine Tochter der Telegraphie. Die von der Telegraphie seit altersher benutzten Schmalspurkanäle erlauben jedoch nicht die geforderten Übertragungsgeschwindigkeiten — und so hängt die ganze Angelegenheit, obwohl sie technisch recht einfach zu lösen wäre, buchstäblich in der Luft. Zur Ehrenrettung der Bundespost sei allerdings hinzugefügt, daß es in den übrigen Staaten Europas nicht anders aussieht: das ganze ist eine Frage der Tarifpolitik, und hier liegt ohnehin seit Jahren vieles im argen, so daß wir lieber höflich darüber schweigen wollen.

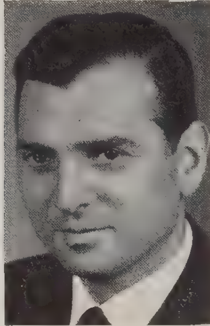
* * *

Mit der Datenübertragung über ,,schnelle" Telephonleitungen ist es also vorläufig nichts. Wie steht es dagegen mit der hörbaren Datenverarbeitung? Auf einen ebenso hübschen wie unsinnigen Weg verfielen nämlich unlängst einige Leute, denen es gleichfalls um Publicity zu tun war. Sie ließen die ehrfürchtig dreinblickenden Besucher an einem simplen Radioempfänger horchen, der die in einem Rechenautomaten ablaufenden Prozesse in Schallwellen umsetzte. Was solcherart entstand, war mitnichten ein Unterhaltungsprogramm und hatte auch mit elektronischer Musik nichts weiter gemein als den Umstand, daß es aus dem Gehäuse eines Rundfunkempfängers kam. Lernen konnte man also nichts aus dieser Demonstration. ,,Sie hören einen Elektronenrechner denken", sagten die Veranstalter. Die Besucher staunten: Das war noch nicht dagewesen. Daß ein Rechner denken kann, hat man nun schon so oft gehört, daß man's beinahe glaubt, obwohl es natürlich Unsinn ist. Nun aber konnte man's sogar hören, es klang ein bißchen mühsam, aber man konnte es mit eigenen Ohren hören, welch ein Ereignis!

Nur ein älterer Herr war nicht zufrieden. ,,Ich verstehe nichts von Rechenautomaten", erklärte er, ,,aber was mir an diesen Maschinen imponiert, ist die Tatsache, daß sie so hübsch still sind. Es sind die einzigen Maschinen in der Welt, die keinen Ton von sich geben, wenn sie arbeiten. Und nun kommen Sie und erzeugen künstlich Lärm, wo er nicht hingehört. Warum wohl gar? Sind stumme Maschinen in Ihren Augen keine richtigen Maschinen? Ich finde das sehr enttäuschend, was Sie da mit dem Radio machen. Wenn das die neueste Mode ist in der Branche — warum nehmen Sie dann nicht gleich eine Drehorgel und den Radetzkymarsch?" Sprach's und entfernte sich grollend von den Schaustellern, die es so gut gemeint hatten, und in deren Herzen er nun den Keim des Zweifels gepflanzt hatte — denn vielleicht, obwohl es nur ein älterer Herr gewesen war, der obendrein von Rechenmaschinen nichts verstand, vielleicht hatte er recht? *D. Kroneberg*



DIE BEITRÄGE DIESES HEFTES WURDEN GESCHRIEBEN VON



Wolfgang Kayser (32). Studium der Nachrichtentechnik an der TH München, Diplom-Examen 1955. Seit 1955 im Zentrallaboratorium der Siemens & Halske AG in München. Mitarbeit am Digitalrechner 2002. Arbeitsgebiet: Datenspeicher (Halbleiter und Magnetika) in der Nachrichtenverarbeitung.



Dipl.-Ing. *Klaus-Jürgen Lesemann* (40), Studium 1939—1940 und 1946—1948 an der TH Darmstadt, Dipl.-Ing. 1948. Wissenschaftlicher Assistent am Institut für Praktische Mathematik (IPM) der TH Darmstadt 1948—1956. Hauptarbeitsgebiet: Anwendung von Analog-Rechenanlagen. Seit 1956 bei Schoppe & Faeser GmbH, Minden, Abteilung Rechenanlagen. Arbeitsgebiete: Entwicklung, Bau und Anwendung von elektronischen Analog- und Ziffern-Rechenanlagen. Seit 1960 außerdem in der Firma EUROCOMP GmbH, Minden (Westf).



Dipl.-Ing. *Adolf Kley* (32). Von 1951 bis 1955 Studium der Elektrotechnik an der TH Karlsruhe. Seit 1955 im Forschungsinstitut der Telefunken GmbH in Ulm. Arbeiten über Analogrechentechnik.





Dipl.-Phys. *Werner Kolb* (29). Studium der Physik an der Universität München von 1951 bis 1957. Anschließend Stipendiat der Deutschen Forschungsgemeinschaft am Institut für theoretische Physik. Seit 1958 bei der Siemens & Halske AG, München. Arbeitsgebiet: magnetische Speicherelemente in nachrichtenverarbeitenden Anlagen.

Dipl.-Ing. *J. Weinmiller* (26). Studium der Nachrichtentechnik an der TH München 1954—1959. Als Informand in verschiedenen Laboratorien der Telefunken GmbH tätig. Arbeitsgebiet digitale Rechenanlagen.

Dipl.-Phys. *Hans-Joachim Harloff*, Zentral-Laboratorium der Siemens & Halske AG, München. Foto und biographische Notizen erschienen in 1 (1959), Heft 4.

Dr.-Ing. *Günter Meyer-Brötz*, Forschungsinstitut der Telefunken GmbH, Ulm. Foto und biographische Notizen erschienen in 1 (1959), Heft 4.

Dr.-Ing. E.h. *Konrad Zuse*, Bad Hersfeld. Über das Wirken Dr. Zuses berichteten wir ausführlich in 1 (1959), Heft 1.

VALVO

A 0661/423

Unser Fertigungsprogramm bietet Ihnen für elektronische Rechenanlagen:

Das Anwendungsgebiet neuzeitlicher elektronischer Rechenanlagen reicht von der Untersuchung grundsätzlicher Hypothesen bis zur exakten Berechnung komplizierter technischer Konstruktionen. Besondere Bedeutung haben elektronische Simulatoren bei dem Studium komplizierter, meist kurzzeitiger dynamischer Vorgänge.
Ausschließlich elektronische Rechenanlagen sind in der Lage, die schwierigen und umfangreichen wissenschaftlichen, mathematisch-technischen und kommerziellen Aufgaben zu lösen, die in der modernen Forschung und Betriebsplanung gestellt werden.
Sie sind elektromechanischen Rechenmaschinen überlegen in der Arbeitsgeschwindigkeit, der operativen Zuverlässigkeit und in der Vielseitigkeit ihrer Anwendungsmöglichkeiten.
Weitere Kennzeichen ihrer Überlegenheit sind die kompakte Bauweise der Magnetspeicher mit ihrem schnellen Zugriff und die trägheitslose und verschleißfeste Arbeitsweise ihrer Bauelemente.

Speicherkerne aus Ferroxcube 6
Digitale Bausteine
Transistoren und Dioden
Elektronenröhren aller Art
Zähleinheiten, Kondensatoren
Synchronmotoren und Ferroxcube-Bauteile
NTC- und VDR-Widerstände
Fotoelektronische Bauelemente

VALVO GMBH HAMBURG 1

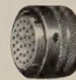


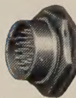
TYP PT
3 FACH-BAJONETTVERSCHLUSS
für alle Steckverbindungen der Serie


Geräte-Einbausteckdose


Kabelstecker


Kleingeräte-Steckdose


Gerader Stecker


Steckdose mit Gegenmutter


Abgedichtete Durchführungssteckdose


Steckdose mit Lötanschluß

Bendix®

MINIATUR-STECKVERBINDUNGEN

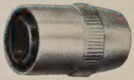
FÜR DIE ENDSTÜCKE


„A" für normale Beanspruchung


„A" (SR) mit Zugentlastung

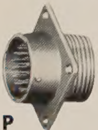

„E" Freileitungsverschluß


„P" Vergußhülle


„W" Kabelverschluß

Mit den Bendix-Miniatur-Steckverbindungen sparen Sie Gewicht und Raum. Die Kontakte sind widerstandsfähig und geben guten Kontakt. Sowohl die Kontaktstifte als auch die Kontaktbuchsen sind mit einer Gold- oder Silberschicht von 100 Mikroinch überzogen, um die Erosion der Kontakte zu vermeiden und eine lange Lebensdauer zu gewährleisten. • Diese Steckverbindungen können den schärfsten Temperaturanforderungen ausgesetzt werden. Sie sind in den Hüllengrößen 8—24 und mit 30 verschiedenen Einsätzen lieferbar. Steckerteile mit Thermoelement sowie Koaxial- und Hochspannungs-Steckverbindungen sind verfügbar. Weitere Informationen geben wir auf Anfrage.

Ferner sind lieferbar


TYP SP
mit 3fach-Bajonettverschluß, Rückwandmontage


TYP PC
mit Doppelgewinde

EIGENSCHAFTEN

- leicht, gedrängter Aufbau
- widerstandsfähige Einsätze
- Buchsenteile an der Eintrittsseite verschlossen
- schnelle Trennung von Stecker- und Buchsenteil

Bendix International DIVISION



205 E. 42ND ST., NEW YORK 17, N.Y., U.S.A. CABLE ADDRESS: "BENDIXINT", N.Y.